

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ

Кафедра системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем

До захисту допущено

Завідувач кафедри

(підпис) Віталій РОМАНКЕВИЧ
(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 202__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Спеціалізовані комп'ютерні системи»
зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»**

на тему: Комп'ютерна система інтерпретації тексту для людей з вадами зору

Виконав: студент IV курсу, групи KB-63

Лихач Олександр Васильович

(підпис)

Керівник: дтн. проф. Терейковський І.А.

(підпис)

Консультант з нормоконтролю, доц.каф.СПСКС, к.т.н. Клятченко Я.М.

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ

Кафедра системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма «Спеціалізовані комп'ютерні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віталій РОМАНКЕВИЧ
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студента

Лихача Олександра Васильовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Комп'ютерна система інтерпретації тексту для людей з вадами зору

керівник проєкту: доктор технічних наук, професор Терейковський І.А.

затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту _____

3. Вихідні дані до проєкту: науково-технічна література, статті про дослідження у сфері систем інтерпритації тексту, статті в наукових журнала, спостереження за тенденцією розвитку ринку подібних систем.

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз існуючих рішень та обґрунтування актуальності розробки; апаратна реалізація клітини Брайля; вибір засобів реалізації та розробка програмного продукту

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

- ІАЛЦ.467200.005 Д1. Структура програми
- ІАЛЦ.467200.006 Д2. Схема алгоритму створення словника
- ІАЛЦ.467200.007 Д3. Схема обробки особливого випадку
- ІАЛЦ.467200.008 Д4. Схема з'єднань на друкованій платі

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Видача завдання на дипломне проектування	26.12.2019	
2	Розробка та узгодження технічного завдання	25.01.2020	
3	Аналіз існуючих рішень	17.02.2020	
4	Вибір технологій проектування	25.02.2020	
5	Розробка проекту клітини Брайля	04.03.2020	
6	Розробка алгоритму перетворення тексту	14.03.2020	
7	Програмна реалізація алгоритму	25.03.2020	
8	Відлагодження програмного продукту	02.04.2020	
9	Підготовка матеріалів текстової частини проекту	30.04.2020	
10	Оформлення технічної документації проекту	19.05.2020	
11	Попередній огляд матеріалів диплому на кафедрі	20.05.2020	

Студент

(підпис)

Олександр ЛИХАЧ

Керівник проекту

(підпис)

Ігор ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота включає пояснювальну записку (55 с., 35 рис., 4 додатки).

Об'єкт розробки – комп'ютерна система інтерпретації тексту для людей з вадами зору та модуль тактильного екрану.

Метою даного проекту є аналіз існуючих рішень та пошук нових, розробка гнучкого алгоритму перетворення інформації, поданої в текстовому вигляді в шрифт Брайля, з формуванням матриці відповідності, де представлено подання символів алфавіту Брайля в двійковому коді та проектування клітини Брайля.

Під час розробки:

- проведено аналіз відомих технологій розробок подібних систем;
- проаналізовано існуючі програмні та апаратні рішення;
- розглянуто основні технології в проектуванні клітин Брайля;
- спроектовано клітину Брайля на базі соленоїдів;
- розроблено програму інтерпретації тексту в шрифт Брайля та відповідне йому двійкове слово

Для розробки використано високорівневу мову програмування Python, інструменти доступних, стандартних бібліотек (зокрема tkinter) та середовище розробки PyCharm. Було здійснено відлагодження і тестування алгоритму на різнопланових тестових наборах вхідних даних.

Програма дозволяє інтерпретувати текстову інформацію в шрифт Брайля та його двійкове відображення з урахуванням особливих випадків та має зручний для проведення відлагодження інтерфейс.

Ключові слова: шрифт Брайля, клітини Брайля, інтерпретація тексту, Python, tkinter, PyCharm, Parse, інтерфейс, комп'ютерна система.

ANNOTATION

Qualification work includes an explanatory note (55 pages, 35 figures, 4 appendices).

The object of development is a computer system of text interpretation for the visually impaired and a tactile screen module.

The aim of this project is to analyze existing solutions and search for new ones, to develop a flexible algorithm for converting information presented in text form into Braille, with the formation of a correspondence matrix, which represents the representation of Braille characters in binary code and Braille cell design.

During development:

- the analysis of known technologies of developments of similar systems is carried out;
- existing software and hardware solutions are analyzed;
- the main technologies in the design of Braille cells are considered;
- Braille cell based on solenoids is designed;
- the program of interpretation of the text in Braille and the corresponding binary word is developed

The development uses a high-level Python programming language, tools from accessible, standard libraries (including tkinter) and the PyCharm development environment. The algorithm was debugged and tested on various test sets of input data.

The program allows you to interpret text information in Braille and its binary display for special cases and has a user-friendly interface.

Keywords: Braille, Braille cells, text interpretation, Python, tkinter, PyCharm, Parse, interface, computer system.

[illegible]

[illegible]

ЗМІСТ

1	НАЙМЕНУВАННЯ ТА ГАЛУЗЬ РОЗРОБКИ.....	2
2	ПІДСТАВА ДЛЯ РОЗРОБКИ.....	2
3	ЦІЛЬ І ПРИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ.....	2
4	ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ	2
5	ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ	2
5.1	Вимоги до апаратної частини, що розробляється	2
5.2	Вимоги до програмного продукту, що розробляється	3
5.3	Вимоги до апаратного забезпечення	3
5.4	Вимоги до програмного та апаратного забезпечення користувача	3
6	ЕТАПИ РОЗРОБКИ.....	4

					ІАЛЦ.467200.002 ТЗ			
Змін	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Лихач О.В.			Комп'ютерна система інтерпретації тексту для людей з вадами зору Технічне завдання	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Терейковський І.А.					1	4
Н. контроль		Клятченко Я.М.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФПМ КВ-63		
Затвердив		Тарасенко В.П.						

1 НАЙМЕНУВАННЯ ТА ГАЛУЗЬ РОЗРОБКИ

Назва розробки: «Комп'ютерна система інтерпретації тексту для людей з вадами зору».

Галузь застосування: комп'ютерні системи призначені для інтерпретації тексту для людей з вадами зору.

2 ПІДСТАВА ДЛЯ РОЗРОБКИ

Підставою для розробки є завдання на виконання роботи першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, затверджене кафедрою системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

3 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ

Метою даного проекту є створення алгоритму перекладу інформації, поданої в текстовому вигляді в формат, який може бути сприйнятий апаратно – двійковий код.

4 ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

Джерелом інформації є технічна та науково-технічна література, технічна документація, публікації в періодичних виданнях та електронні статті у мережі Інтернет.

5 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

5.1 Вимоги до апаратної частини, що розробляється:

- проста реалізація
- максимальна кількість задіяних готових компонентів

					ІАЛЦ.467200.002 ТЗ	Арк.
						2
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- низька собівартість матеріалів
- модульність продукту

5.2 Вимоги до програмного продукту, що розробляється:

- коректний переклад тексту в шрифт Брайля;
- можливість спостерігати за результатом роботи;
- можливість легкого доповнення новими словниками;
- коректне опрацювання особливих випадків перекладу;
- отримання матриці сигналів, яка відповідає кодуванню ASCII;
- наявність зручної програми для тестування алгоритму;
- можливість завантажувати текст з файлу;

5.3 Вимоги до апаратного забезпечення:

- Процесор: 1,2,4-ядерний, Intel, AMD, ARM;
- Оперативна пам'ять - 64 Мбайт і більше.

5.4 Вимоги до програмного та апаратного забезпечення користувача:

- Операційна система Windows, Linux.
- Інтерпретатор мови Python;

					ІАЛЦ.467200.002 ТЗ	Арк.
						3
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ЕТАПИ РОЗРОБКИ

№ з/П	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів
1	Видача завдання на дипломне проектування	26.12.2019
2	Розробка та узгодження технічного завдання	25.01.2020
3	Аналіз існуючих рішень	17.02.2020
4	Вибір технологій проектування	25.02.2020
5	Розробка проекту клітини Брайля	04.03.2020
6	Розробка алгоритму перетворення тексту	14.03.2020
7	Програмна реалізація алгоритму	25.03.2020
8	Відлагодження програмного продукту	02.04.2020
9	Підготовка матеріалів текстової частини проекту	30.04.2020
10	Оформлення технічної документації проекту	19.05.2020

Поз.	Формат	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	Кількість аркушів	№ прим.	Примітки	
	A4	ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Комп'ютерна система інтерпретації тексту для людей з вадами зору	55			
			Пояснювальна записка				
	A4	ІАЛЦ.467200.005 Д1	Структура програми	1			
			Схема структурна				
	A4	ІАЛЦ.467200.006 Д2	Схема алгоритму створення словника	1			
			Блок-схема алгоритму				
	A4	ІАЛЦ.467200.007 Д3	Схема обробки особливого випадку	1			
			Блок-схема алгоритму				
	A4	ІАЛЦ.467200.008 Д4	Схема з'єднань платі на друкованій	1			
			Схема структурна				
			ІАЛЦ.467200.003 ТП				
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Лихач О.В.			Комп'ютерна система інтерпретації тексту для людей з вадами зору Відомість технічного проекту		
Перевірив		Терейковский І.А.					
Консульт.							
Н. контроль		Клятченко Я.М.					
Зав. каф.		Тарасенко В.П.					
					Літ.	Аркуш	Аркушів
						1	2
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФПМ KB-63		

[illegible]

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	3
ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ	6
1.1 Програмні засоби інтерпретації тексту.....	6
1.2 Шрифти тактильного подання тексту.....	10
1.3 Аналіз існуючих апаратних рішень	12
1.3.1 Рукавичка Брайля	13
1.3.2 Дисплеї Брайля	14
1.4 Аналіз технологій розробки комірки Брайля	19
1.4.1 П'єзоелементи.....	19
1.4.2 Соленоїди	22
1.4.3 Мікрофлюїдні об'ємні крапки.....	24
1.5 Обґрунтування теми дипломного проекту	27
2 АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КЛІТИНИ БРАЙЛЯ.....	29
2.1 Вибір технології проектування	29
2.2 Дизайн тактильного пікселя.....	30
2.3 Проектування друкованої плати	32
2.4 Створення дизайну рядка клітин Брайля.....	35
3 ВИБІР ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ	37
3.1 Вибір мови реалізації та середовища проектування	37
3.2 Опис інтерфейсу користувача	39

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ									
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розробив		Лихач О.В.			Комп'ютерна система інтерпретації тексту для людей з вадами зору. Пояснювальна записка					Літ.	Аркуш	Аркушів		
Перевірив		Терейковський І.А.										1	55	
Н. контроль		Клятченко Я.М.												
Затвердив		Тарасенко В.П.												
					КПІ ім. Ігоря Сікорського ФПМ КВ-63									

3.3	Опис роботи програми.....	42
3.4	Аналіз особливих випадків.....	42
3.5	Аналіз результатів роботи	47
ВИСНОВКИ		51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....		53
ДОДАТКИ		

Додаток 1. Копії графічного матеріалу.

ІАЛЦ.467200.005 Д1. Структура програми

ІАЛЦ.467200.006 Д2. Схема алгоритму створення словника

ІАЛЦ.467200.007 Д3. Схема обробки особливого випадку

ІАЛЦ.467200.008 Д4. Схема з'єднань на друкованій платі

Додаток 2. Лістинг програми.

Додаток 3. Презентація

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я;

ПЗ – Програмне Забезпечення;

PDF – Portable Document Format – формат файлу;

TXT – textfile – стандартний текстовий формат;

wav – waveform audio format – формат аудіофайлу;

mp3 – MPEG-1 Audio Layer 3 – формат аудіофайлу;

UNIX – операційна система;

DjVu – технологія стискання зображення з втратами, розроблене спеціально для зберігання відсканованих документів — книг, журналів, рукописів та ін;

США – Сполучені Штати Америки;

RAM – Random Access Memory — пам'ять з довільним доступом;

Гб – гігабайт – кратна одиниця вимірювання кількості інформації;

Tk – Toolkit – крос-платформенна бібліотека базових елементів графічного інтерфейсу;

MPT – Магнітно-Резонансна Томографія;

ОС – Операційна система;

ASCII – American Standard Code for Information Interchange – Американський стандартний код для інформаційного обміну;

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Людина отримує 80-90% інформації про навколишній світ через зір. Згідно останніх даних Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), в усьому світі понад 300 мільйонів людей має порушення зору, серед яких 45 мільйонів незрячі та ця цифра постійно зростає. Згідно останніх досліджень, опублікованих в журналі Lancet [1], зараз кількість людей з порушеннями зору зменшується, але враховуючи зростання населення землі та старіння популяції, науковці прогнозують, що число людей з проблемами зору стабільно зростатиме. До 2050 року їх кількість може досягти 550 мільйонів.

- В Україні немає точної офіційної статистики кількості людей з порушенням зору, за неофіційними даними число коливається від 100 до 300 тисяч, з яких понад 10 тисяч діти. [2]
- Враховуючи вищесказане перед нами постає глобальна проблема, яка потребує вирішення низки питань:
- цифрове включення. Інформація яка доступна більшості з нас не може бути сприйнята людьми з вадами зору, що створює проблему доступу до навчальних матеріалів, новин та іншого контенту;
- погана грамотність. Мільйони дітей які мають вроджені чи набуті вади не можуть отримувати інформацію в тому вигляді, який подається в звичайних школах. Через високу вартість адаптивних систем, освіта для таких людей є важкодоступною;
- безробіття. Рівень безробіття для сліпих становить понад 75%, це зумовлено зокрема проблемою вільного доступу до інформації для таких людей і відповідно поганої грамотності та цифровому відчуженню;
- соціальне відчуження. Всі вищесказані чинники призводять до соціального відчуження. Людям з вадами зору важко брати участь в житті громад, вести бізнес чи працювати на звичних, для більшості, роботах.

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

На даний час існують різноманітні пристрої для сліпих, та як правило вони дуже дорогі, та взявши до уваги факт, що понад 90% людей з вадами зору живуть в країнах, що розвиваються, проблема не є вирішеною.

Більшість девайсів базуються на переводі інформації в шрифт Брайля – рельєфно крапковий шрифт, розроблений Луїсом Брайлем, в основі якого лежить комбінація з шести (рідше восьми) крапок.

Метою даної роботи є пошук рішень в створенні доступної для широкого загалу комп'ютерної системи інтерпретації тексту для людей з вадами зору. Також буде розглянуто та проаналізовано існуючі аналоги, їх переваги та недоліки, та запропоновано деякі оригінальні рішення.

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
						5
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ

1.1 Програмні засоби інтерпретації тексту

Основна задача інтерпретації тексту для людей з вадами зору полягає в перетворенні її в вигляд, який може бути сприйнятий іншими сенсорними органами. В людини є шість видів чутливості: слух, зір, нюх, дотик, смак та рівновага. Якщо зір відсутній, то нашою задачею буде інтерпретувати інформацію таким чином, щоб інша сенсорна система змогла її сприйняти. Текстова інформація може бути перетворена в звук, або закодована тактильно.

Розглянемо обидва варіанти. Перший спосіб – перетворення текстової інформації в аудіо. Реалізація даного способу є непростим завданням, оскільки для коректного перетворення, система має враховувати розділові знаки, які впливають на сенс закодованої інформації – прикладом їхньої важливості може слугувати відомий вислів «Казнить нельзя помиловать», де розміщення розділового знаку кардинально змінює суть сказаного.

Розробка таких систем є дуже складним завданням, адже потрібно враховувати неоднозначність мовних правил, особливості мови, розділові знаки, контекст. Всі ці речі є звичними для нас, але описати це для комп'ютерної системи, яка керується набором конкретних правил потребує значних зусиль.

Зазвичай найуспішнішими є розробки з використанням штучного інтелекту, де система, опрацьовує великий набір даних, та на їх основі формує нові правила – навчається, без участі розробника. Такий метод вирішення задач зараз набуває значної популярності, це зумовлено постійним збільшенням доступної цифрової інформації та постійним ростом апаратних можливостей. Недоліком є те, що далеко не всі мають необхідну базу для розробки таких систем, тому що попри ріст потужностей комп'ютерів, для їх навчання потрібні значні обчислювальні потужності.

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Програмні засоби перекладу текстової інформації в аудіо повинні вміти правильно аналізувати текст. Окрім розбору його на лексеми та виділення розділових знаків, система повинна правильно читати слова. Кожне слово має наголоси, які інколи можуть бути зрозумілі лише з контексту. Як приклад можна навести слова «за'мок» та «замо'к». Тому для коректного прочитання потрібен також контекстуальний аналіз інформації, що являється дуже складною задачею, в плані розробки.

Однак, нещодавно компанією Google було запропоноване деякі рішення. Згідно повідомлення в блозі компанії, було анонсовано нові можливості Google Assistant, де сказано, що відтепер помічник зможе читати вголос інформацію з сторінок в мережі, а також перекласти написане 42 мовами (які саме мови не уточняється). Для запуску цієї функції потрібно промовити «Привіт Google, прочитай цю сторінку». Асистент читаючи буде підсвічувати текст який він озвучує в даний момент, та автоматично скролитиме сторінку, при закінченні тексту на екрані. Розробники зазначають, що текст буде відтворюватись «виразним, природним голосом». Також сказано, що швидкість читання можна буде змінювати, відносно власних вподобань. [3]

Це дуже зручна технологія, та на жаль вона доступна лише за наявності пристрою на базі Android 5 і вище, та за умови підключення до мережі інтернет.

Також, компанією нещодавно було представлено нову віртуальну клавіатура Брайля (рис. 1), інтегрована безпосередньо в Android. Дана клавіатура була анонсована 9 квітня цього року, і як повідомляється в офіційному блозі компанії Google буде доступна в інтегрованому застосунку TalkBack з того ж дня.

Щоб скористатись клавіатурою потрібно утримувати обидві кнопки регулювання гучності протягом трьох секунд, це викличе засіб увімкнення застосунку і після підтвердження запустить його, або увімкнути його в налаштуваннях.

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Окрім оновлених можливостей, TalkBack озвучує всі дії які відбуваються на екрані смартфона, працюючи поверх інших програм – тому здійснення будь-яких маніпуляцій з пристроєм буде попередньо озвучено і запрошено підтвердження, в разі отримання якого виконується обрана користувачем дія.

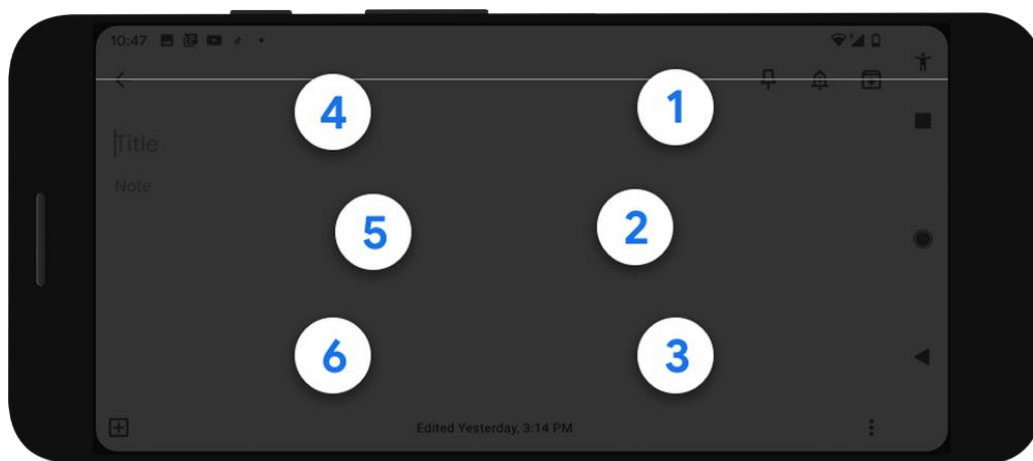


Рисунок 1 – Вбудована брайлівська клавіатура для телефонів Android

Клавіатуру можна використовувати в будь-якому місці, яке ви зазвичай вводите текст і дозволяє видаляти літери та слова, додавати рядки та надсилати набрану інформацію. Вмикати та вимикати клавіатуру так само просто, як перемикання між міжнародними клавіатурами.

Брайлівська клавіатура Talkback розповсюджується на пристрої Android версії 6.0 і вище. Вона працюватиме в усіх додатках на пристрої, на сьогоднішній день підтримує шрифт Брайля лише англійською мовою. [4]

Серед інших доступних програмних розробок існує ряд офлайн програм, які дозволяють перекладати текст в аудіо, та як правило вони не забезпечують належності якості перекладу тексту. Серед таких можна виділити:

- «Талалайка» — програма розроблена російськими розробниками для операційної системи Windows. Програма може читати вголос текст завантажений в редактор або зі завантажених у неї файлів в

форматі txt, pdf, DjVu, doc та іншими. Особливістю програми є можливість зберігання аудіо зі збереженням всередині тексту.

- «Govorka» — безкоштовна програма що надає користувачу зручний, простий інтерфейс, працює на базі операційної системи Windows. Підтримує декілька мов та може працювати з основними текстовими форматами. Перевагами програми є: можливість пропускання пауз, зберігання аудіо (*.wav, *.mp3), можливість налаштування тембру та швидкості читання, робота з великими файлами, постійне оновлення словників. Недолік – не має версії для систем на базі UNIX.
- «eSpeak» — безкоштовна мультиплатформна програма, доступна для Linux, Windows, macOS та Android. В роботі використовує системні голосові двигуни, також містить кілька своїх. Програма надає користувачу простий, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Для роботи достатньо вставити в віконце вводу текстову інформацію і натиснути клавішу «Speak», може працювати з TXT файлами.
- «Voice Aloud Reader» — програма для смартфонів на базі Android, має можливість читання веб-сторінок, електронних листів, завантаженого в програму тексту або ж читання з текстових файлів різних форматів.
- «TTS Reader» — програма для смартфонів на базі Android. Працює з файлами різних форматів, має простий інтерфейс та можливість керування за допомогою Bluetooth гарнітури. Недолік – підтримується мало мов.
- «Google Translate» — онлайн сервіс від корпорації Google, який окрім перекладу має можливість озвучування введеної інформації. Перевагою є можливість відтворення на багатьох мовах. Недолік – працює лише з завантаженим в неї уривком тексту, за умови

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

підключення до мережі інтернет та не дає можливості зберегти озвучений текст в аудіодоріжку.

Таке різноманіття програмних засобів спрощує проблему доступу до інформації та не вирішує її. Нажаль значна частина доступних програмних розробок погано справляються з задачею озвучування тексту. Більшість з них непогано справляються з художніми творами, де більшість слів і фраз загальнопоширені, та якщо говорити про літературу для якихось окремих галузей, яка містить багато рідковживаних слів та термінів, то читання такої інформації, як правило, веде до її деформації.

Також суттєвим недоліком є те, що управління цими програмами потребує певних маніпуляцій, які люди з порушенням зору не зможуть виконати самостійно.

1.2 Шрифти тактильного подання тексту

Другий спосіб – це перетворення інформації в форму, яка буде доступно тактильно, тобто сприйнята кінцівками пальців. Існує декілька варіантів шрифтів для людей з вадами зору. Найбільш поширеним являється шрифт Брайля.

Шрифт Брайля був розроблений в 1824 році французом на ім'я Луї Брайль. Луї в віці трьох років поранився ножом, через що в очі виникло запалення, яке призвело до повної втрати зору. У віці 15-ти років він розробив рельєфно-точковий шрифт, що фактично був першою системою запису з використанням двійкового кодування.

Через свою простоту шрифт швидко набув популярності. В 1960 році половина сліпих дітей шкільного віку в США читати з його допомогою.

В основі шрифту лежить комбінація крапок. Найбільш поширеною є комбінація 6 крапок, хоча існує варіант з використанням 8 крапок – різниця між ними в кількості закодованої інформації. Оскільки комірка з крапкою

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

може знаходитись в одному з двох положень – випукла (1) та невидпукла (0), за допомогою 6 крапок можна закодувати 2^6 (64) символи, з використанням восьми крапок можна закодувати 2^8 (256) символів. [5]

Як правило для кожної мовної групи існує своя таблиця відповідності символів в алфавіті мови та їх інтерпретації за допомогою шрифту Брайля (рис. 2, 3).

Символ	а	б	в	г	ґ	д	е	є	ж	з	и
Шрифт Брайля	⠁	⠃	⠅	⠇	⠇⠠	⠇⠡	⠇⠢	⠇⠣	⠇⠤	⠇⠥	⠇⠦
Символ	і	ї	й	к	л	м	н	о	п	р	с
Шрифт Брайля	⠏	⠏⠠	⠏⠡	⠏⠢	⠏⠣	⠏⠤	⠏⠥	⠏⠦	⠏⠧	⠏⠨	⠏⠩
Символ	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ь	ю	я
Шрифт Брайля	⠞	⠘	⠠	⠠⠢	⠠⠣	⠠⠤	⠠⠥	⠠⠦	⠠⠧	⠠⠨	⠠⠩

Рисунок 2 – Українські літери та їх відображення шрифтом Брайля.

Символ	,	.	?	!	;	:	-	'
Шрифт Брайля	⠂	⠆	⠏⠠	⠏⠡	⠂⠢	⠂⠣	⠂⠤	⠂⠥
Символ	"....."				"(.....)"			
Шрифт Брайля	⠠⠠⠠⠠⠠⠠				⠠⠠⠠⠠⠠⠠			

Рисунок 3 – Зображення знаків пунктуації шрифтом Брайля.

Ще одним варіантом тактильного шрифту є шрифт Муна (рис. 4), в якому використовуються спрощенні латинські букви. Цей тип шрифту мало поширений, зараз відомі лише близько 400 чоловік які його використовують, більшість з яких проживають на території Великобританії. На відміну від шрифту Брайля, шрифт Муна використовує криві кути та лінії, він важчий для сприйняття, особливо для тих людей, хто має вроджені вади зору і не знає як виглядають букви. Також він важко інтерпретується, через що практично відсутня інформаційна база, закодована з його використанням. Варто відзначити, що даний тип шрифту наявний лише для латинського алфавіту. [6]

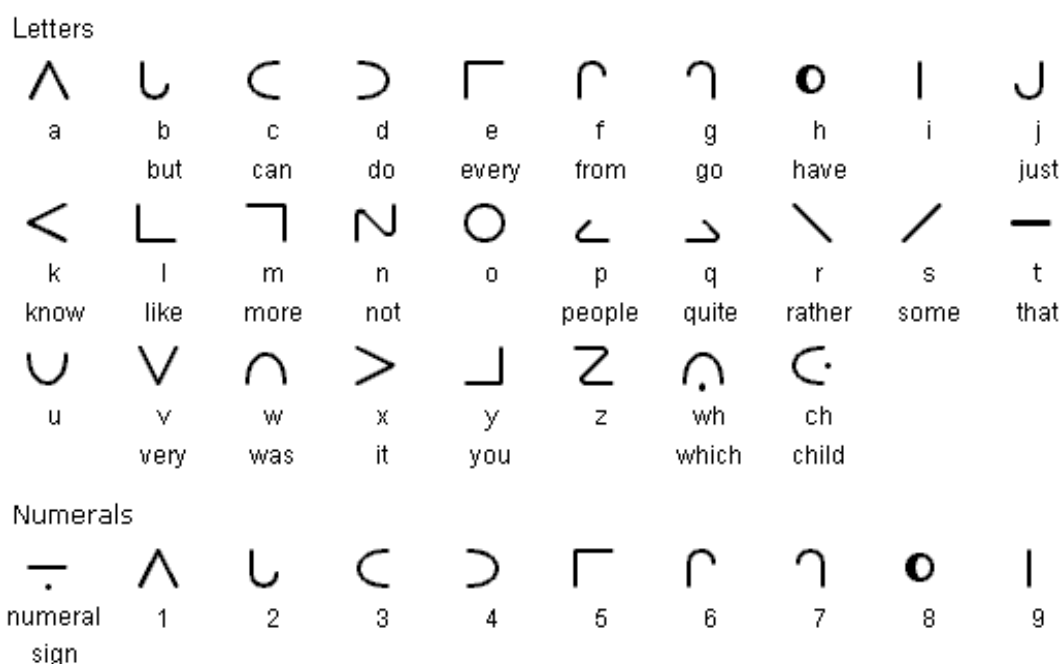


Рисунок 4 – Шифр Муна

1.3 Аналіз існуючих апаратних рішень

Зараз існує велика кількість проектів по залученню людей з вадами зору до соціального життя, для них створюються робочі місця, бібліотеки, друкарні – які друкують книги шрифтом Брайля. Та як правило ці речі доступні лише в великих містах.

Сьогодні існує певний різновид пристроїв вводу-виводу інформації для сліпих. Та враховуючи вузьку спеціалізацію більшість цікавих розробок помирають на стадії прототипу. Це зумовлено низкою факторів, основним з яких є невелика та інформаційно відчужена цільова аудиторія. Тому інколи інформація про такі девайси просто не потрапляє до потенційних покупців.

Розглянемо найбільш цікаві розробки детальніше.

1.3.1 Рукавичка Брайля

Це найбільш інноваційна розробка в цій галузі, прототип був створений в 2018 році розробником з Санкт-Петербурга і призначена для людей з вадами слуху та зору. Система складається з особливої рукавички з вмонтованими датчиками та пристрою який кріпиться на кисті руки котрий працює в парі з телефоном (рис. 5). Датчики здатні сприймати аудіо сигнали та подавати їх на кінцівку, за допомогою шести крихітних вібродвигунів, в шрифті Брайля. Внутрішня частина рукавички містить контакти, замикаючі які, при згині пальців, людина може набирати текст, який буде озвучено допоміжним пристроєм. Система здатна працювати з 36 мовами. Даний девайс працює в парі з телефоном, який має містити спеціальне ПЗ. Недоліком розробки є її вузька спеціалізація та потреба в навчанні при користуванні. Проект ще не став комерційним і поки знаходиться на стадії тестового запуску, очікується випуск першої тисячі екземплярів. [7]

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рисунок 5 – Рукавичка Брайля

1.3.2 Дисплеї Брайля

Дисплей Брайля – це пристрій виводу текстової інформації за допомогою інтерпретації її в шрифт Брайля. Як правило складається з одного, або більше, рядків з комірками по 6 (рідше 8) стовпчиків, котрі піднімаючись відображають відповідні символи азбуки Брайля.

Зараз доступно декілька моделей такого типу пристроїв. Розглянемо найбільш відомі з них.

Tactile Braille Tablet insideONE – компанії insidevision

Планшет від французьких розробників виділяється тим, що працює на базі операційної системи Windows 10. Пристрій вигідно вирізняється поміж конкурентів хорошим дизайном та технічними характеристиками (рис. 6). Містить основний сенсорний екран діагоналю 10 дюймів з розширенням 1920 x 1200 пікселів, покритий міцним склом Gorilla Glass 3 та брайлівський дисплей на 32 комірки. Планшет оснащено процесором INTEL Quad Core, оперативною пам'яттю в 4 Гб, та внутрішнім сховищем розміром в 64 Гб, з підтримкою Micro SD карт об'ємом до 256 Гб. Також значною перевагою є

корпус з анодованого алюмінію та потужний Li-Ion акумулятор ємністю 8000mAh. [8]

Даний девайс містить ще значну кількість приємних характеристик, що робить його лідером серед подібного типу продуктів, проте його важко назвати доступним рішенням. Ціни на такий пристрій стартують від 5 495 долларів, що для більшості не є доступною ціною. Також варто зазначити те, що придбати його можна лише через офіційних представників, яких в Україні нажаль немає.



Рисунок 6– Braille Tablet insideONE

BrailleNote Touch 32 Plus – компанії Humanware

Даний пристрій (рис. 7) є одним з найкращих доступних пропозицій на ринку на даний момент. Пристрій працює на базі операційної системи Android 8.1 Oreo, містить дисплей Брайля в 32 комірки також оснащений сенсорним екраном пристосованим для вводу інформації абеткою Брайля, 32 гігабайти вбудованої пам'яті, 2 Гб RAM, стереодинаміки та мікрофон. Даний девайс дозволяє людям з вадами зору читати інформацію, за допомогою комірок

Брайля тактильно та вводити інформацію в пристрій. Також доповненням до пристрою є клавіатура з 9 клавіш (8 для кодування символів та пробіл) яка пришвидшує введення тексту. [9]

Основним недолік девайсу є його доступність – ціни на мінімальну комплектацію стартують від п'яти тисяч доларів, що для більшості є непідйомною сумою. Також варто відзначити, що його немає в продажі в Україні.



Рисунок 7 – BrailleNote Touch 32 Plus

Braille Pad One – компанії 4Blind

Пристрій було анонсовано в Барселоні на конкурсі стартапів Toyota Startup Awards, минулого року. Даний девайс (рис. 8) розробили в Росії, як більш дешевий аналог зарубіжних брайлівських дисплеїв. Пристрій являє собою восьми дюймовий планшет, на якому міститься поле з 3249 тактильних пікселів. Розробка дозволяє окрім виводу тексту відображати графічні об'єкти. На даному етапі існує лише прототип, першу партію обіцяють випустити до кінця цього року. [10]

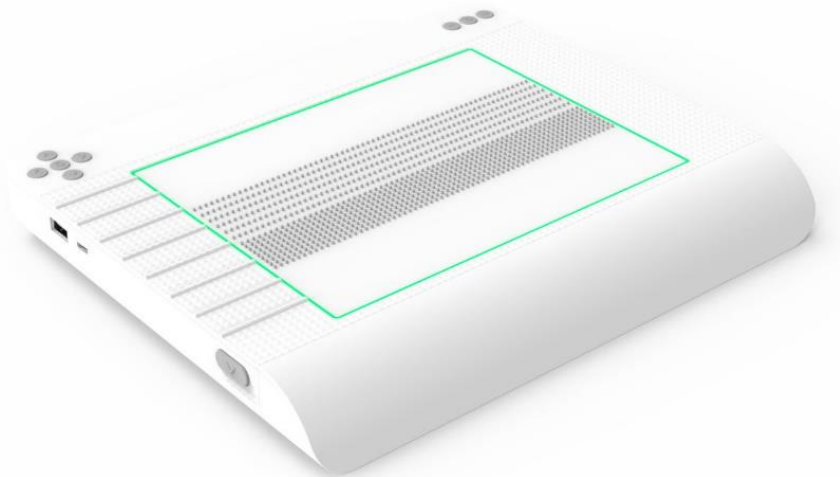


Рисунок 8 – Braille Pad One

Blitab

Розробка Австрійської компанії являє собою планшет для читання та запису інформації за допомогою шрифту Брайля. Пристрій має два дисплеї, тактильний та сенсорний (рис. 9). Верхня частина пристрою містить багаторядковий брайлівський дисплей з 14 рядками, в кожному з яких знаходиться 23 комірки Брайля (Braille cells) з яких незрячі люди можуть зчитувати інформацію, як текстову так і графічну. Інший дисплей сенсорний, пристосований для вводу інформації шрифтом Брайля. Blitab працює на базі операційної системи Android, тому окрім спеціальних функцій може працювати з всіма доступними для цієї ОС програмами. Також варто відзначити наявність функції VoiceOver, котра дозволяє керувати пристроєм за допомогою мови, та клавіатури. Пристрій знаходиться на стадії стартапу і поки не доступний в продажі. [11]

На відміну від аналогів в його основі є використання невеличких бульбашок для створення тактильних пікселів, що економічно вигідніше. Прогнозована ціна такого пристрою стартуватиме від 500 доларів.



Рисунок 9 – Blitab

Поширеним варіантом брайлівського дисплею, з тих котрі доступні зараз, є пристрої з одним рядком комірок, що створює значні обмеження, оскільки можна працювати лише з текстовою інформацією довжиною не більше ніж одне речення. До того ж ці девайси як правило працюють як пристрій виводу з комп'ютеру, а не як самостійний продукт.

Як приклад можна розглянути доступні в Україні моделі компанії Freedom Scientific (рис. 10). На рисунку зображено дві моделі праворуч Focus 14 Blue – на 14 клітин Брайля, ліворуч Focus 40 Blue на 40 клітин відповідно. Ціна на модифікацію з 14 клітин, що для читання досить незручно, оскільки вона може вивести лиш 1-2 середніх слова, на офіційному сайті стартує з 1295 долларів. Модель на 40 клітин вартує 2995 долларів. [12] Ціни на дані моделі в українських магазинах на порядок вищі, що зв'язано з відсутністю в країні офіційного представництва компанії.

Існують і інші розробки в даній галузі, але як правило всі вони знаходяться на стадії проектів, не завжди навіть з робочим прототипом.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.467200.004 ПЗ

Арк.

18



Рисунок 10 – Поширений типаж однорядкових дисплеїв Брайля

1.4 Аналіз технологій розробки комірки Брайля.

Сучасні розробки систем відображення тексту є дорогими – це зумовлено складними технологіями виготовлення та використанням високовартісних матеріалів, які необхідні в їх розробці.

Основна складність в проектуванні дисплея Брайля полягає в створенні компактної комірки Брайля – частинки пристрою з рухомими елементами, які будуть виконувати щоденні навантаження. Проаналізуємо наявні технології.

1.4.1 П'єзоелементи

П'єзоелементи – кристали, що мають властивість змінювати свою форму під дією електричного струму і навпаки, створюють електричний струм при деформації. Вони також генерують високі сили відносно невеликих розмірів, надаючи їм значне співвідношення потужності та розміру.

Цікавим фактом є те, що вперше п'єзокераміку синтезував уродженець Білої Церкви – радянський фізик Бенціон Мойсейович Вул в 1944 році.

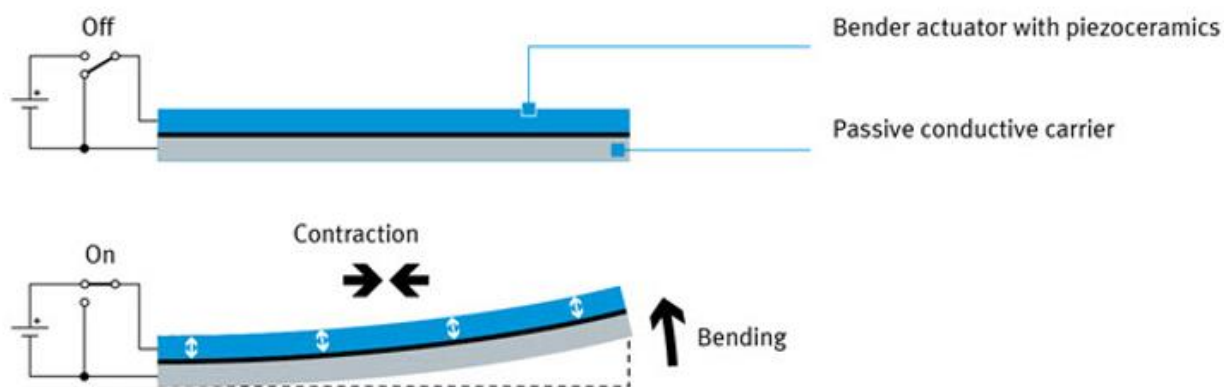
Більшість пристроїв, які зараз є в продажі, використовують їх для виготовлення своїх продуктів. Це зокрема зумовлено успішною інтеграцією

даної технології компанією Metec, яка займається виготовленням комірок для брайлівських дисплеїв (рис. 11). На даний час представлена лінійка готових моделей, які інші компанії можуть замовляти для виготовлення своїх продуктів. Також в компанії є власні розробки дисплеїв Брайля. [13][14]



Рисунок 11 – Комірка Брайля компанії Metec

Дані комірки, як ми бачимо, доволі масивні, що не дозволяє створити повноцінний дисплей з декількох рядків. Принцип роботи технології доволі простий – кожний стовпчик містить під собою п'єзоелемент, який при подачі на нього струму деформується, виштовхуючи стовпчик вище, тим самим створюючи випуклість, яка може бути зчитана тактильно (рис. 12). [15]



Function of the bender actuator in piezo valves

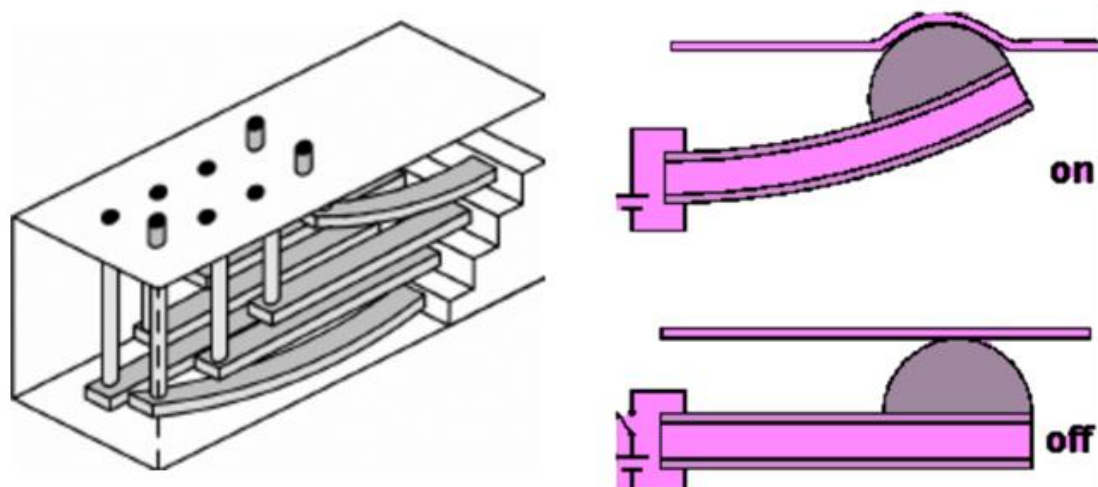


Рисунок 12 – Демонстрація роботи комірки Брайля з використанням п'єзоелементів

П'єзоприводи зазвичай використовуються для заміни соленоїдів у клапанах, насосах та роздавальному обладнанні, вони здатні протистояти екстремальним середовищам, таким як високі вакууми і сильні магнітні поля, що присутні в машинах МРТ та аерокосмічних компонентах.

При створенні п'єзоприводу зазвичай враховуються два параметри - вільний прогин (X_f) і сила блокування (F_b). Вільне відхилення - це рух, досягнутий при застосуванні максимально допустимої напруги і не створюється сила. Аналогічно, сила блокування - це максимальна сила, яка

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.467200.004 ПЗ

Арк.

21

може бути вироблена при застосуванні максимально допустимої напруги і не дозволяється приводу рухатися (рис. 13).

П'єзопривід вважається оптимізованим для застосування, коли він забезпечує необхідну силу при половині його вільного прогину.

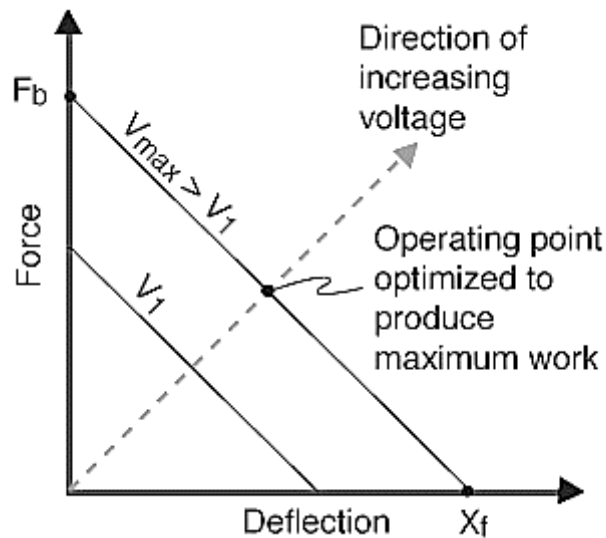


Рисунок 13 – Графік залежності вільного прогину і сили блокування п'єзоприводу

В побуті ми можемо зустріти п'єзоелементи в сучасних запальничках – де використовується інша властивість п'єзоелектриків, а саме створення електричного поля при стисненні. Натискаючи кнопку провокується іскра, яка здійснює запал газу – така система більш стійка та надійна, порівняно з використанням кресального пристрою.

Вони також можуть використовуватись при створенні двигунів, та поки такі технології не є конкурентними. [13]

1.4.2 Соленоїди

Соленоїд – це простий фізичний прилад, що складається з котушки дроту намотаного на циліндричну поверхню. Суть роботи даного механізму

полягає у виникненні магнітного поля в котушці, за умови, що довжина соленоїда буде більша його діаметру (рис. 14). Таким чином його можна використовувати як силовий електропровід. [16]

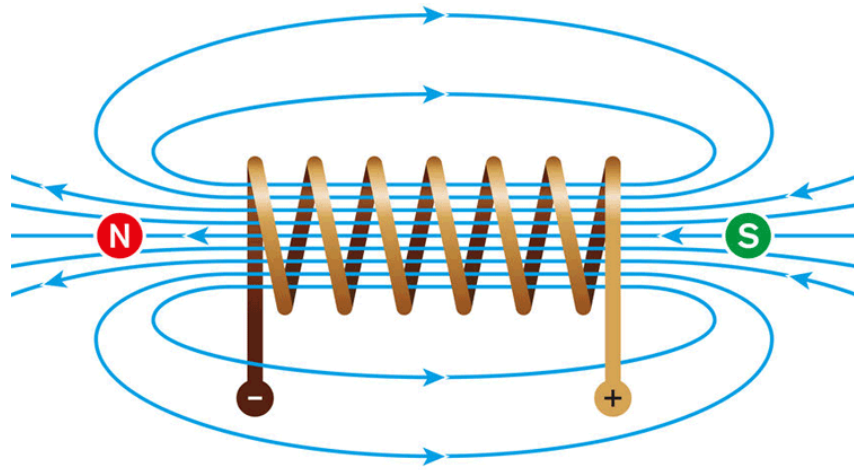


Рисунок 14 – Магнітне поле соленоїда

Соленоїди (рис. 15) застосовуються в багатьох галузях промисловості і в багатьох областях цивільної сфери. Ножиці відрізання чеків в касових апаратах, клапани двигунів, тягове реле стартера, клапани гідравлічних систем, шлюзові дверні системи – всі ці пристрої використовують соленоїди.

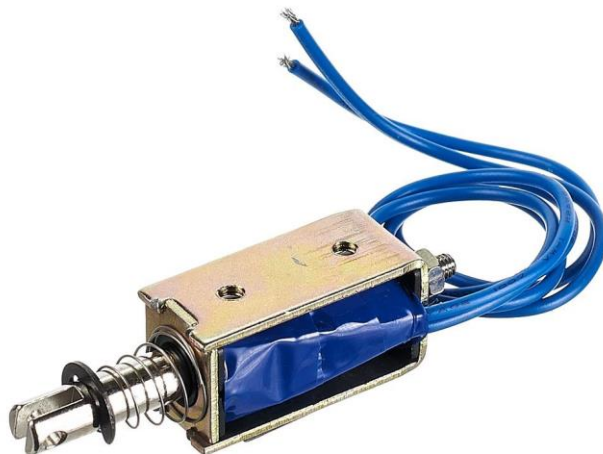


Рисунок 15 – Соленоїд

1.4.3 Мікрофлюїдні об'ємні крапки

Мікрофлюїдика – мультидисциплінарна галузь яка вивчає поведінку, контроль та маніпуляції рідинами котрі обмежені невеликим простором.

Перші згадки про мікрофлюїди з'явилися на початку 1980-х, їх використовували в розробці друкарських головок для струменевих принтерів, ДНК-мікросхемах, lab-on-a-chip технологіях (пристрій, який інтегрує один або кілька лабораторних функцій на одній інтегральній схемі), мікро-двигунах та мікротеплових технологіях. [17]

Поведінка рідин на мікромасштабі може відрізнятися від "макрофлюїдної" поведінки тим, що такі фактори, як поверхневий натяг, розсіювання енергії та текучий опір починають домінувати в системі. мікрофлюїдика вивчає, як змінюється їх поведінки, і як це можна обробляти та використовувати для нових цілей.

Застосування технології в розробці комірок Брайля вперше було продемонстровано вченими з Університету штату Мічиган (США) в 2004 році.

Перший прототип екрану з приміненням технології було анонсовано в 2016 році. Матриця дисплею формується з бульбашок, які наповнюючись рідиною формують тактильно сприйнятний рельєф. Система є доволі делікатною, оскільки при порушенні герметичності одного елементу виходить з ладу, відремонтувати її доволі складно. Також варто зазначити складність виготовлення таких пристроїв. Запропонована технологія поки не реалізована в жодному з доступних на ринку продуктів і існує лише на стадіях прототипу (рис. 16).

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

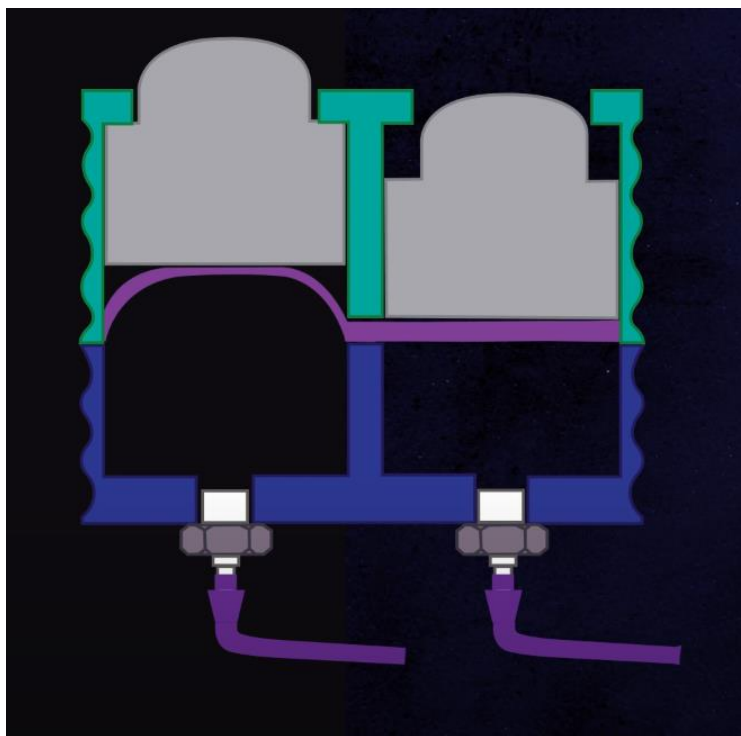


Рисунок 16– Демонстрація роботи мікрофлюїдної об'ємної крапки

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.467200.004 ПЗ

Арк.

25

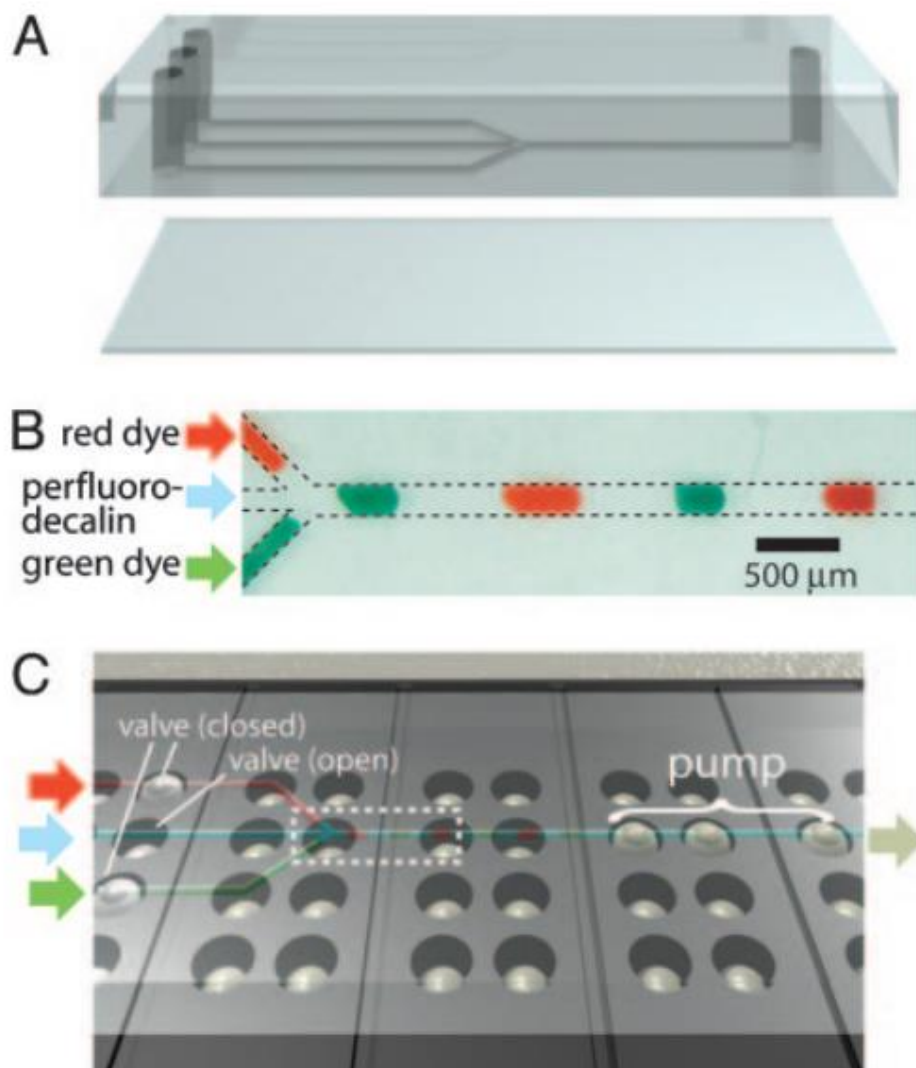


Рисунок 17 – Огляд експериментальної установки

На рисунку 17 можна побачити перший прототипом експериментальної установки. Над потенційними пікселями дисплею Брайля (рис. 17, А) розміщується шар з пружного матеріали, що забезпечує однакове початкове положення штифтів. Завдяки різним фізичним властивостям рідин (рис. 17, В) їх можна контролювати окремо в одному каналі, для демонстрації їх виділено трьома кольорами – блакитним, червоним та зеленим. Три клапани можуть обслуговуватись одним перистальтичним насосом. Як показано на рисунку (рис. 17, С) один відвідний насос забирає рідину, а три клапани, розташовані на кожному вході, визначають, яку вхідну рідину переміщують. Легко

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.467200.004 ПЗ

Арк.

26

вимірювати різні комбінації кожної рідини в конкретних кількостях для аналітичних та інших цілей. Також можна створити нові положення насоса та клапана, змінивши лише конструкцію каналу або навіть використовуючи одну і ту ж конструкцію каналу, вирівняну в різних конфігураціях. [18]

Основним недоліком технології є її складність та надійність. Описані схеми дають базове розуміння ідеї, та попри це розробка та знаходження матеріалів для її реалізації, потребує широких знань в багатьох галузях.

1.5 Обґрунтування теми дипломного проекту

Проаналізувавши існуючі продукти інтерпретації тексту можна помітити, що доступного широкому загалу продукту поки немає. Більшість існуючих рішень є складними в реалізації та дорогими в виробництві.

Розробка повноцінного дисплею Брайля включає в себе дві ключові задачі:

- розробка простого в реалізації, компактного тактильного пікселя;
- розробка програмного забезпечення для інтерпретації тексту в матрицю сигналів, яка подаватиметься пристрій виводу.

Дослідивши доступні для користувача пропозиції, враховуючи їх ціну, доступність та орієнтацію (в основному це пристрої та програми які можуть інтерпретувати лише латинський алфавіт) проблема не є вирішеною.

Також варто відзначити, що існуючі на сьогодні рішення мають ряд обмежень, котрі не дозволяють створити повноцінний і водночас доступний дисплей, що створює можливості для удосконалення наявних та побудови нових рішень для вирішення проблеми інтерпретації тексту.

Доцільним рішенням у створенні системи інтерпретації тексту є знаходження балансу між собівартістю виготовлення продукту та його можливостей. Серед доступних технологій, найбільш вигідним рішенням в виготовленні апаратної частини являється використання соленоїдів.

Метою роботи є створення клітини Брайля за допомогою соленоїда.
Система повинна відповідати наступним вимогам:

- необхідно використовувати якомога більше готових деталей;
- число деталей має бути мінімальним;
- деталі мають бути з доступних матеріалів та нескладними в виготовленні;
- мінімізовано використання енергії

Також, була поставлена задача створення програмного продукту, який на вхід отримуватиме текст і видаватиме, як результат, дані котрі можна відправити для обробки на пристрій виводу, в нашому випадку двійкове слово, в якому буде закодоване положення штифтів клітини.

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

2. АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КЛІТИНИ БРАЙЛЯ

2.1 Вибір технології проектування

Основною ідеєю в виборі технології є її простота, надійність та вартість. Проаналізувавши існуючі рішення, та для реалізації було обрано використання соленоїдів.

Дана технологія має ряд переваг, зокрема:

- простота – для реалізації потрібно небагато деталей
- доступність – всі використані в проектуванні елементи є доступними, що знижує вартість розробки
- модульність – при пошкодженні одного елементу механізму його можна легко замінити, також його поломка не виведе з ладу всю систему
- надійність – система передбачає мінімум деталей, що зменшує ризик їх зносу та поломки.

Основна задача – створити маленький соленоїд, який зможе фіксувати стовпець в двох положеннях.

Кожен тактильний піксель буде складатися з:

- циліндра з обмоткою – який створюватиме магнітне поле;
- магніти – котрі будуть рухатись в котушці;
- два шматки феромагнетику для фіксації положення.

При такій конструкції, енергія на утримання положення пікселя, не буде потрібна, що є перевагою автономності.

2.2 Дизайн тактильного пікселя

Згідно з ідеєю розробки дизайн кожного пікселя (рис. 18) міститиме:

- дві пластикові деталі – тримач для магніту та корпус для котушки;
- два магніти;
- обмотку з емальованого дроту товщиною 0,1 мм;
- дві гайки типу M2 (діаметр 2 міліметри).

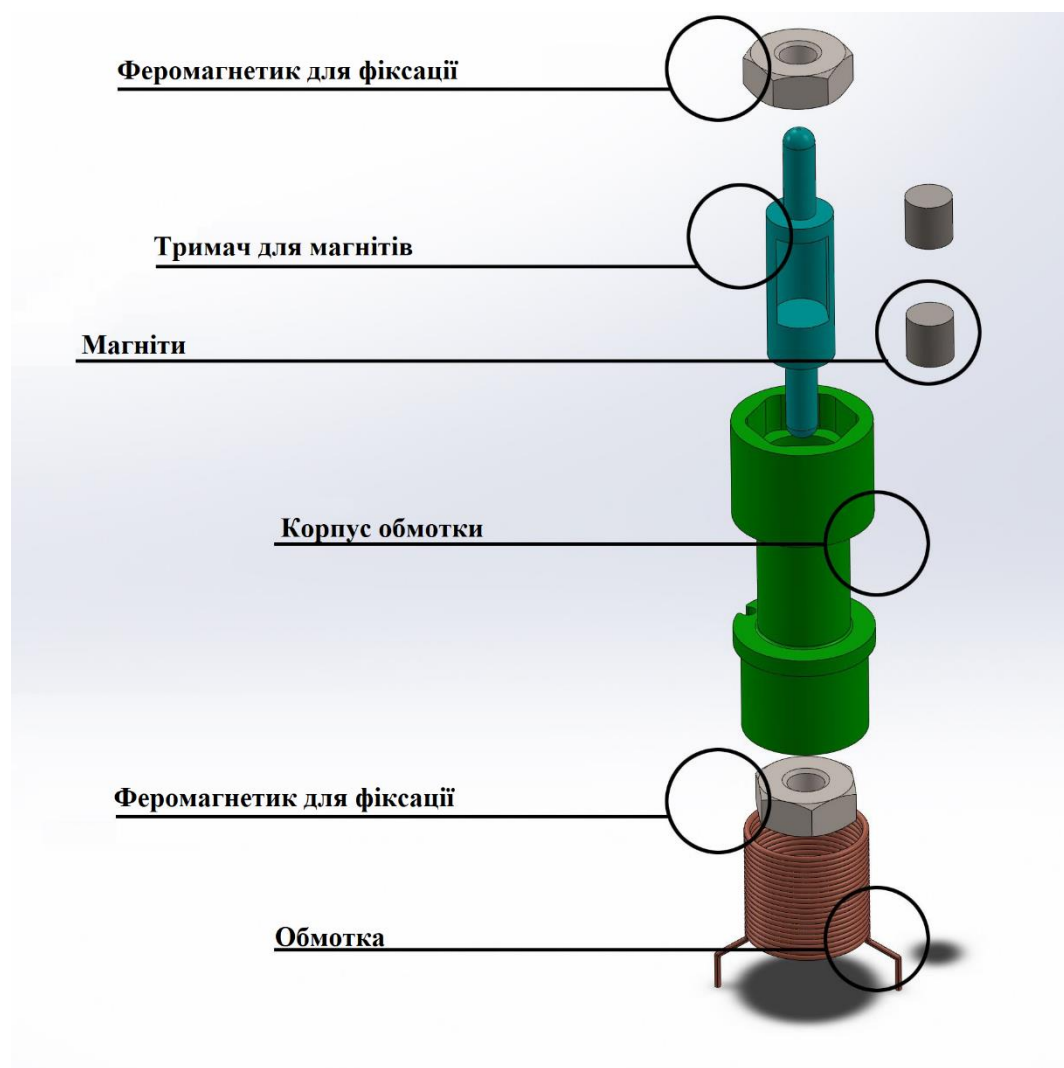


Рисунок 18 – Будова тактильного пікселя на базі соленоїда

Такі рішення були спровоковані тим, що для виготовлення прототипу буде достатньо виготовити корпус обмотки та тримач магнітів, всі інші деталі є в вільному доступі на ринку.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.467200.004 ПЗ

Арк.

30

Також хочеться зазначити, що дана модель може бути модифікована. Як приклад можна розглянути використання пружини для фіксації «нульового» положення, також можливо використати покриття матриці пікселів еластичним матеріалом, це попередить випадіння пікселя в стан «одиниці» без використання нижнього феромагнетика.

Принцип роботи дуже простий – коли на соленоїд не подається струм, тримач з магнітами знаходиться в нижньому положенні, де його фіксує феромагнетик (в нашому випадку гайка). Коли в обмотку потрапляє струм, під дією магнітного полі магніти рухаються вгору, створюючи випуклість, та фіксуються в верхньому положенні за допомогою верхнього феромагнетика (рис. 19).

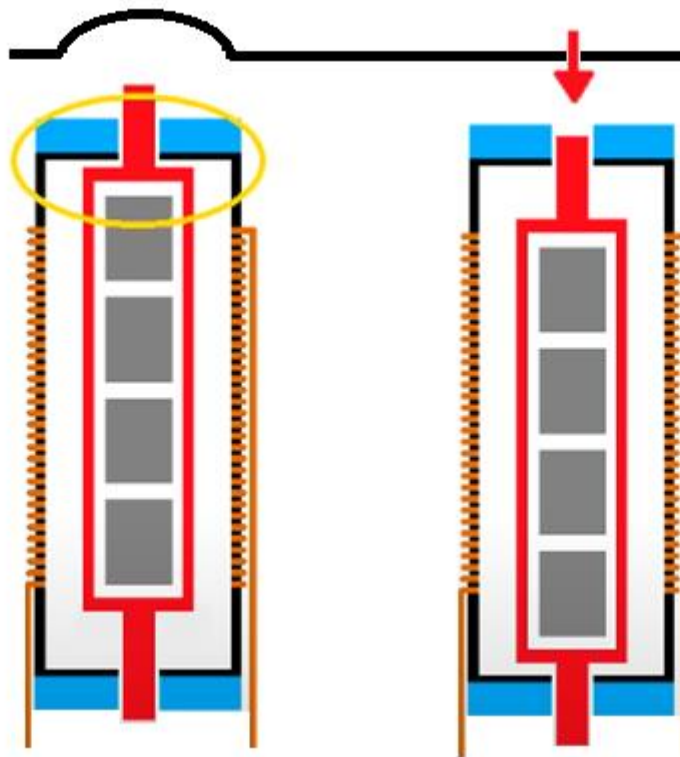


Рисунок 19 – Демонстрація принципу роботи тактильного пікселя

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.467200.004 ПЗ

Арк.

31

Для формування клітини Брайля нам потрібно шість таких соленоїдів. Модель такої системи представлена на рисунку 20.

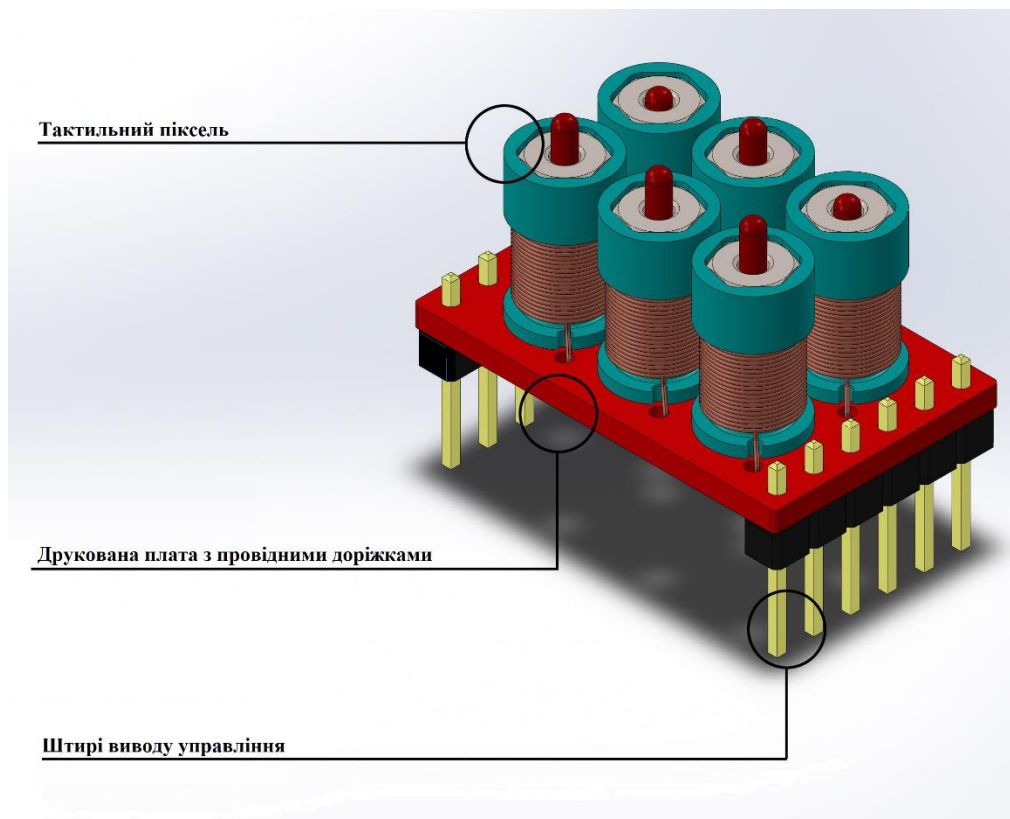


Рисунок 20 – Модель клітини Брайля з використанням соленоїдів

2.3 Проектування друкованої плати

Згідно макету, додатково потрібно продумати розміщення доріжок на друкованій платі. В даній роботі ми розглядаємо розроблювальний модуль як самостійну систему.

Для роботи соленоїда потрібно, щоб через нього проходив електричний струм, тому до одної з двох його ніжок має бути підведена напруга, інший вихід буде переданий на штирі управління, розміщені на краю друкованої плати (рис. 21).

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.467200.004 ПЗ

Арк.

32

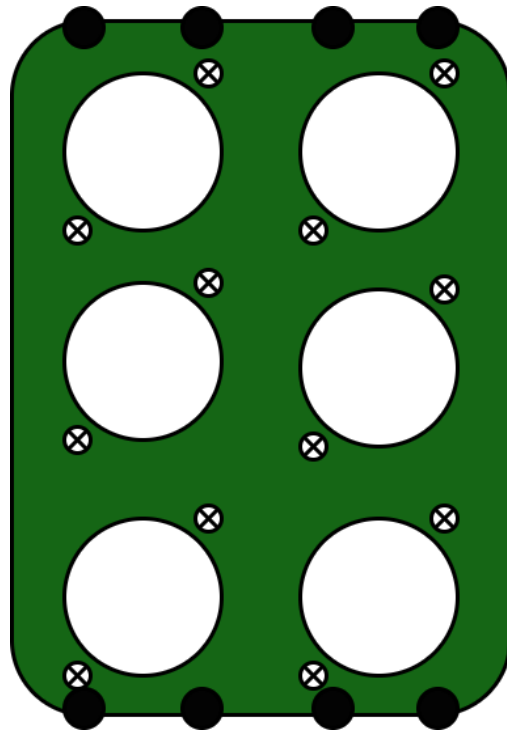


Рисунок 21 – Вигляд друкованої плати

На рисунку 21 зображена схема друкованої плати, де зеленим кольором зображена сама плата, кругами з хрестиком зображено кріплення контактів для ніжок соленоїда, чорні круги – штирі, через які буде здійснюватися управління клітини.

Штирів знадобиться вісім, по чотири з кожної сторони, шість для управління кожним соленоїдом, один для підведення напруги, останній в даному варіанті не використовується, та він знадобиться при інтеграції модуля в більш масштабній системи для виводу струму на інші модулі при їх підключенні.

Для реалізації пронумеруємо їх і розглянемо, які виходи до яких штирів мають бути під'єднані (рис. 22). Детальна схема з'єднань подана в додатках. Ілюстрацію розміщення доріжок на платі показано на рисунку 23.

Зручно вивести по три контакти на управління на кожному з сторін, візьмемо перші три зліва. На вихід під номером 16 подамо напругу і з'єднаємо

його з одним з виходів всіх соленоїдів. Вихід під номером 20 не використовується.

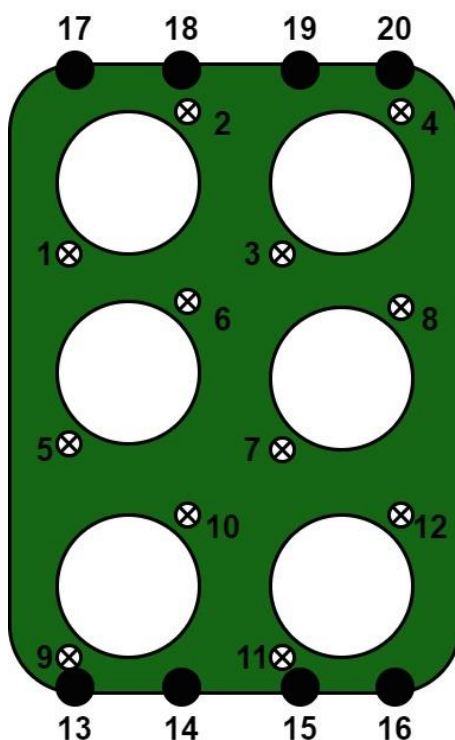


Рисунок 22 – Друкована плата з нумерацією виходів

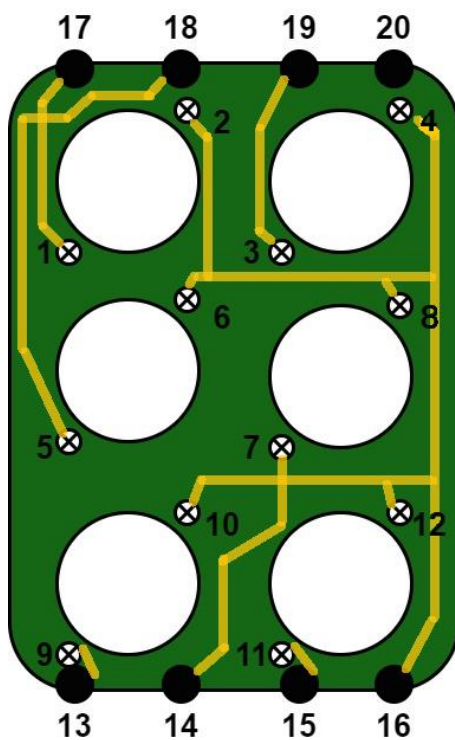


Рисунок 23 – Друкована плата з ілюстрацією доріжок

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.467200.004 ПЗ

Арк.

34

Зобразивши жовтим кольором потрібні з'єднання легко помітити що існують перетини, що недопустимо. Ця проблема легко вирішується, якщо лінії, що перетинаються, перенести на зворотну сторону плати, таким чином цього можна уникнути.

2.4 Створення дизайну рядка клітин Брайля

Повноцінний дисплей Брайля являє собою матрицю з клітин, розміщених в корпусі пристрою, тому необхідно є захистити механізм від безпосереднього контакту з користувачем листом матеріалу з отворами для руху штифтів. Спроекуємо об'ємну модель клітини (рис. 24).

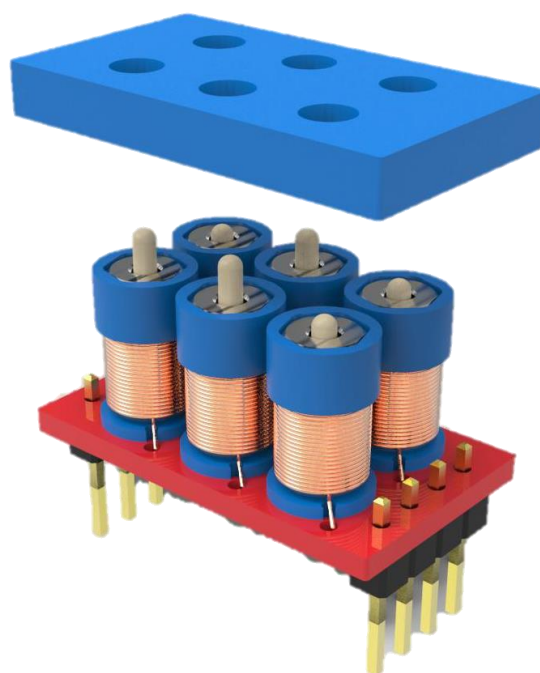


Рисунок 24 – Вигляд прототипу клітини Брайля

Розмістивши модулі один за одним, отримуємо рядок з клітин Брайля, який зможе виводити інформацію (рис. 25).

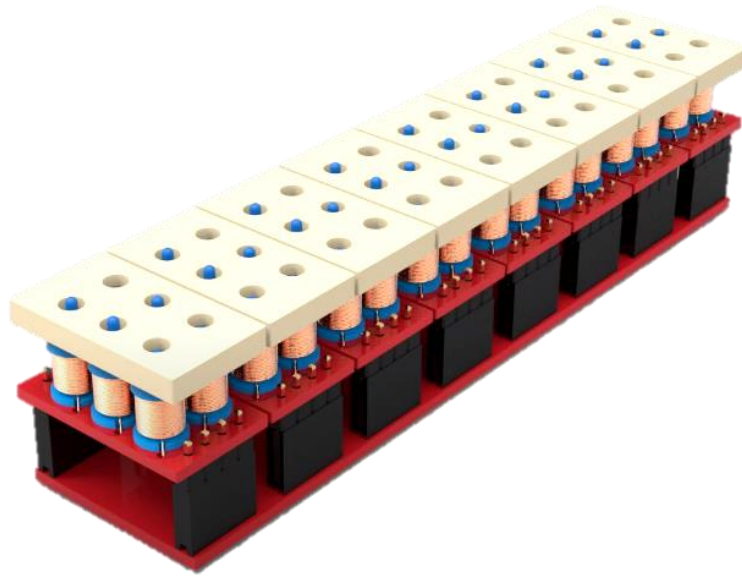


Рисунок 25 – Елемент Брайлівського дисплею

Така розробка є надзвичайно простою та доступною, що дозволяє реалізувати її створення за низькою собівартістю. Також значною перевагою такого типу дисплею буде можливість створення декількох рядків, що розширює можливості пристрою і створює передумови для виводу не тільки тексту, а й наприклад картинок, за допомогою алгоритму виділення контуру. Це не зможе передати всю повноту зображення, але дозволить виводити певні інструкції, які краще сприймаються просторово – наприклад карти.

Як недолік даної системи можна виділити розміри. Попри те що вона не буде масивною, її розміри все ж більші за розміри існуючих технологій, та даний недолік нівелює ціна та потенційні можливості даного пристрою. Завдяки перевагам такого дизайну, продукт, розроблений на базі цієї технології може стати доступним широкому загалу, що значно збільшить інформаційне включення людей з вадами зору в життя суспільства.

3 ВИБІР ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ

3.1 Вибір мови реалізації

Для розробки програмного забезпечення в якості інструменту було обрано мову Python. Мова має ряд переваг, які послугували причиною обрати саме її, серед яких хочеться виділити:

- якість програмного забезпечення – Python підтримує різні парадигми програмування, що дає можливість використовувати різні типи рішень найоптимальнішим способом в межах програми;
- переносимість програм – більшість програмних продуктів, реалізованих на Python, функціонують без будь яких змін в коді на основних комп'ютерних платформах (Linux, Windows);
- продуктивність праці розробника – дана мова є високорівневою, з високим рівнем абстракції, що дозволяє значно скоротити затрати часу на розробку;
- підтримувані бібліотеки – Python містить дуже велику кількість бібліотек, більшість з яких знаходяться в вільному доступі, що дозволяє знаходити готові рішення під конкретні задачі, або ж створювати свої;
- читабельність програм – це було основною ідеєю в створенні цієї мови, її синтаксис передбачає дотримання певних правил в оформленні, через що створені на цій мові програми легко читаються, що спрощує спільну розробку великих програм.

Python має зручні у використанні вбудовані типи даних, які дають додаткові переваги в розробці з меншими, порівняно з іншими мовами, витратами часу. Python розширювальна мова, що дозволяє додавати нові функції, або модулі, написані на C, для забезпечення максимальної швидкості в тих місцях де це необхідно. На відміну від компільованих мов

програмування, на зразок C++, Python програє в швидкості виконання програм, втім можливості сучасних комп'ютерів нівелюють цей недолік. [19]

В розробці інтерфейсу для програми інтерпретації тексту буде використано стандартну бібліотеку для роботи з віконним інтерфейсом tkinter.

Tkinter (від англ. Tk interface) — багатоплатформна бібліотека для розробки графічних інтерфейсів на основі засобів Tk(крос-платформенна бібліотека базових графічних елементів інтерфейсу). Розроблена Стіном Лумхольтом (Steen Lumholt) і Гвідо ван Россумом. Входить в набір стандартних бібліотек мови Python.

Бібліотека є широко розповсюдженою, досить популярна в UNIX подібних системах, також портована на Windows та Mac OS. Поширюється з відкритим сирцевим кодом, що дає можливість використання, перегляду, вивчення та корегування.

Tkinter не реалізує власний інтерфейс до бібліотеки Tk, а забезпечує конвертування звернень Python в звернення Tcl — мови, яка тісно інтегрована з Tk. Таким чином Tkinter є обгорткою для Tcl/Tk. [20]

Для розробки використаємо інтегроване середовище для мови програмування Python – PyCharm. Це потужний, популярний інструмент котрий працює на більшості операційних систем та надає потужні можливості для розробки. [21]

Можливості PyCharm:

- підсвічування синтаксису та помилок, статичний аналіз коду;
- інтегровані засоби для юніт-тестування;
- підтримка систем контролю версій;
- вбудований дебагер для мови Python;
- інструменти для роботи з використанням фреймворку Django;
- зручна навігація між проектами, файлами, класами та методами.

3.2 Опис інтерфейсу користувача

Програма має зручний інтерфейс (рис 26), основною задачею котрого являється демонстрація можливостей алгоритму, та можливість його тестування без сторонніх застосунків чи файлів.

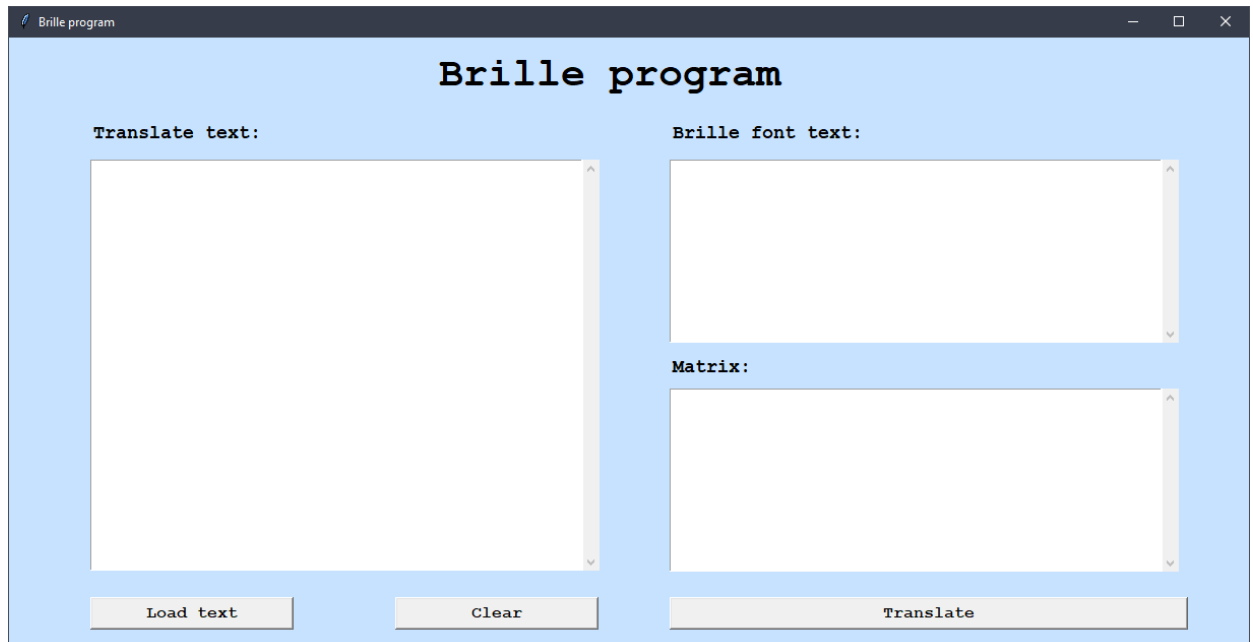


Рисунок 26 – Інтерфейс програми

Вікно програми вміщає в собі 3 текстових поля їх підписи та 3 кнопки керування. Розглянемо детальніше особливості кожного елементу та його призначення.

Текстові поля реалізовано за допомогою компоненту з графічної бібліотеки Tkinter – ScrolledText. Даний елемент може вміщувати великий обсяг тексту, який може перевищувати розмір поля вводу, що не обмежує користувача в кількості вхідних даних. Текст можна вносити вручну, вставляти або завантажувати з файлу.

Поле «Translate text» – призначене для вводу тексту, який ми хочемо інтерпретувати. Поле доступне для редагування.

Під ним розміщуються дві кнопки «Load text» та «Clear». При натисканні на першу викликаються дві функції, перша очищує поле, друга записує в нього

інформацію, котру читає з файлу. При натисканні другої кнопки - «Clear», поле вводу очищується (рис. 27).

Таке рішення було обумовлене тим, щоб при демонстрації роботи програми була можливість бачити який саме текст інтерпретується, що в свою чергу дозволяє одночасно бачити вхідні і вихідні дані.

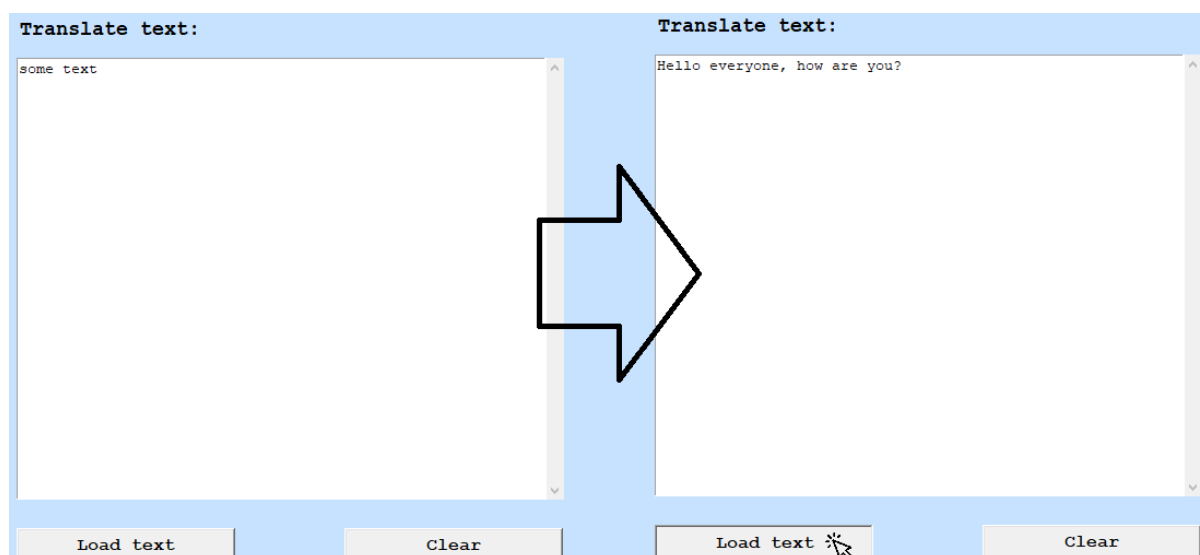


Рисунок 27 – Демонстрація роботи кнопки «Load text»

З правої сторони вікна програми розміщується текстове поле «Brille font text». Це поле закрито для вводу даних користувачем – в ньому відображається текст перекладений в шрифт Брайля (рис. 28).



Рисунок 28 – Демонстрація роботи поля виводу «Brille font text»

Трішки нижче розміщується поле «Matrix» – яке призначене для виводу матриці сигналів (рис 29). Як і попереднє, поле закрито для вводу інформації. Інформація в нього вноситься програмно. В одному рядку виводиться двійкове

кодування одного символу. Таке рішення було втілене для можливості слідкувати за виконанням програми, що також дає змогу легко перевірити кожен конкретний символ.

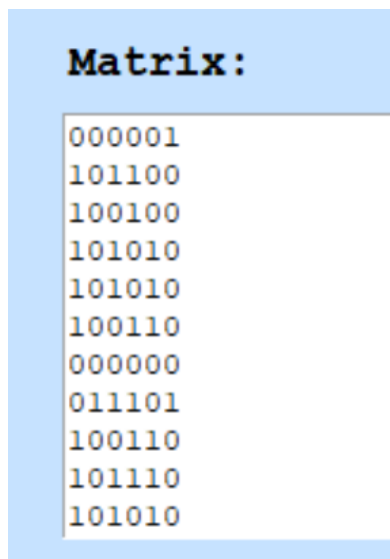


Рисунок 29 – Демонстрація роботи поля виводу «Matrix»

В нижньому правому кутку вікна розміщується кнопка «Translate» - після натискання якої здійснюється зчитування поля вводу, його передача функціям перекладу та вивід результату. Варто відмітити, що перед виводом, попередня інформація, яка містилась в полях «Brille font text» та «Matrix» очищується.

Такі рішення було реалізовано для уникнення змішування даних, оскільки важко на перший погляд визначити по шрифту Брайля, яка саме інформація ним записана, те ж саме і з двійковим відображенням.

Розроблений інтерфейс максимально простий та інтуїтивно зрозумілий. Під час розробки основний акцент був приділений на знаходження простого і гнучкого алгоритму інтерпретації інформації. Основна задача в розробці інтерфейсу – показати наочність його роботи.

3.3 Опис роботи програми

Основним завданням в розробці алгоритму було знаходження оптимального способу відображення відповідності вхідного символу до її подання в шрифті Брайля (рис. 30). Також важливо було зберегти можливість легкого доповнення, наприклад при зміні вхідного алфавіту.

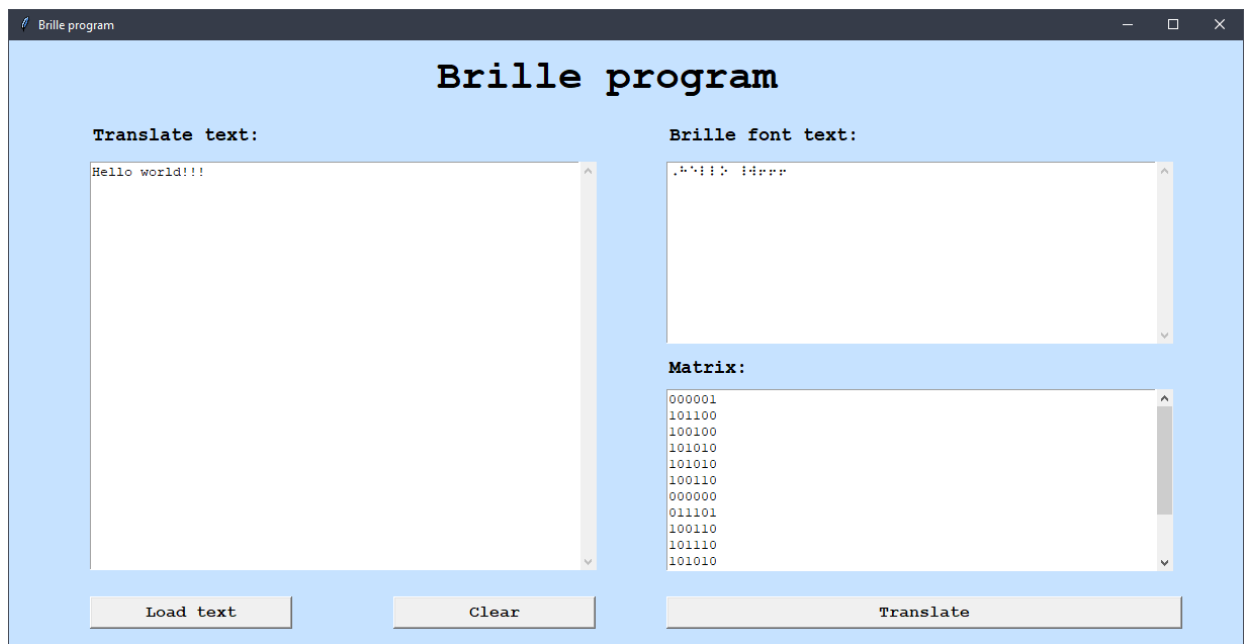


Рисунок 30 – Демонстрація роботи програми

Перед нами стоїть два завдання: відображення символу в точковий шрифт Брайля – однозначне відображення, та відображення вхідного символу в двійкове слово – неоднозначне відображення.

Проаналізувавши доступні структури для реалізації першої задачі було обрано два статичних методи для роботи з рядками *str.maketrans* та *str.translate*. Особливість їх роботи заключається в створенні хеш-таблиці, де кожному передбаченому елементу ставиться у відповідність інший. Розглянемо детальніше особливості їх роботи.

Спочатку розберемо *str.maketrans (x[, y[, z]])* – це статичний метод мови Python що повертає таблицю для перекладу застосовану для метода *str.translate*. Метод може приймати один, два або три аргументи.

Якщо є лише один аргумент, він повинен бути словником, співставляючий порядковий номер таблиці Unicode (цілі додатні числа) чи символи (рядки довжиною в один символ) з порядковими номерами Unicode, рядкам (довільної довжини) або ж None. Символьні ключі потім перетворюються в ординали.

Якщо два аргументи – це повинні бути рядки однакової довжини, де кожен символ першого рядка буде відповідати символу другого рядка, який стоїть на такому ж місці в іншому рядку.

У випадку трьох аргументів, третій повинен бути також рядком, який буде відображено у випадку незнаходження відповідності.

Даний метод дозволяє швидко створювати таблиці відповідності з якими працює *str.translate*. Цей метод повертає копію рядка в якій кожен символ був відображений відносно таблиці відповідності. В разі незнаходження відповідності в рядок буде записано вхідний символ.

Використання цих двох методів дозволяє дуже швидко додавати нові таблиці для перекладу. [20]

Розглянемо роботу цих методів на прикладі. Створимо дві стокові змінні *intab* та *outtab*. Внесемо в них данні:

```
in_tab = "helo"
```

```
out_tab = "·: ·: ·: ·:"
```

Після цього створим таблицю відповідності:

```
translate_tab = str.maketrans(intab, outtab)
```

Продемонструємо роботу *translate*, для цього створим рядок, в який запишемо символи які є в таблиці, а також інші символи і виведем результат.

```
strg = " hello dog"
```

```
print(strg.translate(translate_tab))
```

Програма виведе наступний вміст «·: ·: ·: ·: d·g» замінивши існуючі в таблиці відповідності символи та лишивши ті, котрих там немає.

Використання даних методів дозволяє швидко додавати, видаляти і корегувати алфавіти символів з якими може працювати програма.

Оскільки для інтерпретації тексту, окрім відображення вхідних даних в вигляді точкового шрифту Брайля нам потрібна матриця сигналів де одному вхідному символу відповідатиме шість цифр – двійкове відображення точок. Дану задачу ми не зможемо вирішити описаним вище способом, тому для її реалізації було обрано стандартну структуру даних мови Python – словники.

Словник – це неупорядкована структура даних, котра дає можливість зберігати пари «ключ – значення». Робота методів *maketrans* / *translate* базується на тих же принципах, проте дозволяє простіше створювати однозначні відповідності. В випадку формування матриці сигналів, відповідність неоднозначна, тому доведеться створити словник, котрий міститиме як ключ – символи алфавіту та, як значення, їх двійкове відображення.

Формуючи матрицю сигналів, було помічено певну закономірність в кодуванні сигналів та в порядкувому розміщенні символів Брайля в таблиці ASCII. Основна відмінність в кодуванні символу в розміщенні розрядів (рис. 31), в таблиці розрядність вказується горизонтально, на практиці символи розміщенні в такій послідовності, що розрядність змінюється вертикально. Використовуючи це можна ініціювати створення словника програмно. В проєкті це було реалізовано циклом, який проходячи 64 літерації моделює двійковий лічильник, беручи відповідний символ з алфавіту Брайля як ключ програма прив'язує до нього адаптоване двійкове слово. Таким чином словник створюється автоматично.

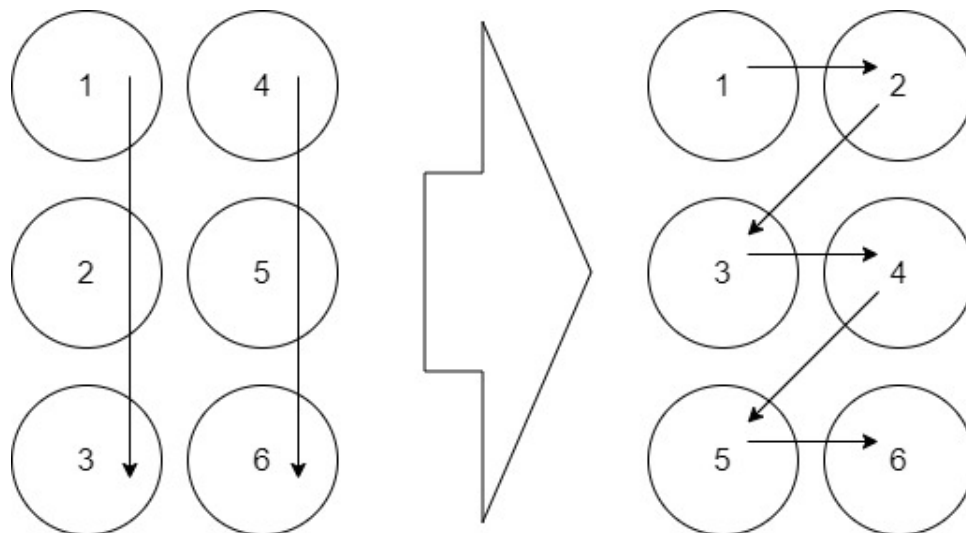


Рисунок – 31 – Різниці розміщення розрядів, зліва зміна розряду в таблиці Юнікод, справа в таблиці ASCII

Оскільки немає закономірності у порядку розміщення букв в алфавіті та їх кодуванням в шрифт Брайля, рядок з алфавітом доведеться внести вручну. Загалом додавання нової мови ініціалізується практично так же, додаванням одного рядка з алфавітом мови в порядку відповідності її відображення шрифтом Брайля, та ініціалізацією нової таблиці перекладу (*new_tab = str.maketrans(new_leng, braille_dot)*).

Після натискання кнопки «Translate», запускається послідовний виклик ряду простіших методів. Першою викликається метод очищення полів виводу. Після нього дані з поля вводу зчитуються в рядок та оброблюються. Циклом здійснює обхід цього рядка, котрий на кожній літерації здійснює аналіз символу на особливий випадок, після чого передає його для методів перекладу в шрифт Брайля та знаходження відображення в двійковому коді.

Після закінчення циклу роботу програми можна вважати завершеною.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.5 Аналіз особливих випадків.

Особливими випадками являються великі літери, цифри, та їх комбінації. В шрифті Брайля використовуються префікси, використання яких сигналізує читачу про те, що наступні символи мають певні відмінності. Префікси мають певні особливості при їх використанні. При перевірці символу для його коректного відображення нам не достатньо лише його одного, потрібно проаналізувати попередній символ.

Розглянемо детальніше випадок відображення цифр. На початку числа, через співпадіння його кодування точковим шрифтом з літерами, для точної ідентифікації, що це саме число, потрібно вивести числовий префікс – що означатиме початок числової частини, яка триватиме до пробілу, або ж до іншого символу (окрім цифри). Тобто, префікс ставиться перед початком числа і дійсний до його закінчення, що створює необхідність аналізувати попередній символ. В програмі це було реалізовано дуже просто: якщо символ який обробляється цифра, то здійснюється перевірка попереднього символу, в результаті якої передбачено два випадки. Перший випадок – там цифра, тоді префікс виводити не потрібно і програма передає символ на знаходження відображення. Другий там не цифра, в такому випадку нам не суттєво, що саме там знаходиться, адже ми всерівно повинні вивести «числовий префікс» (також його двійкове відображення в матрицю) після чого передати символ на пошук відповідності.

Іншим особливим випадком є «буквений префікс» — він потрібен у тому випадку, якщо літери починаються відразу після цифр. Це також вирішується аналізом попереднього символу, у разі цифри ми виводимо префікс, у всіх інших випадках ні.

І останнім випадком є відображення верхнього регістру букв. Враховуючи що в шести точках можливо закодувати 64 символи, використовувати окреме кодування для верхніх і нижніх регістрів було б не розсудливо, тому був введений префікс верхнього регістру, який ставиться

перед великою буквою. Це унарний префікс і він використовується кожного разу при зустрічі великої літери.

Також варто відмітити можливий випадок, коли після цифри йде одразу велика літера. Оскільки префікс для верхнього регістру примінимий лиш до букв, тут відпадає потреба виводу символьного префіксу, що створює ще один підвид особливого випадку.

Проаналізувавши множину можливих нетипових випадків, було розроблено алгоритм аналізу символу, який на практиці показав свою коректну працездатність.

2.1. Аналіз результатів роботи

Результатом роботи програми є два набори даних – представлення текстової інформації за допомогою шрифту Брайля та матриця сигналів. Розберемо кожен з них окремо.

Перший набір даних формується програмою відносно заздалегідь прописаної відповідності між символом вхідного алфавіту та його подання в точковій формі. Дані для її формування було взято з таблиці Braille ASCII (рис 32). [22]

ASCII Hex	ASCII Glyph	Брайлові крапки	Брайлівський гліф	Брайлівський гліф Unicode	Брайлівське значення
20	(пробіл)	000000	⠠		(пробіл)
21	!	011011	⠠	⠠	то
22	"	000100	⠠	⠠	(скорочення)
23	#	010111	⠠	⠠	(префікс числа)
24	\$	111001	⠠	⠠	ред
25	%	110001	⠠	⠠	ш
26	&	111011	⠠	⠠	і
27	'	000010	⠠	⠠	'
28	(101111	⠠	⠠	з
29)	011111	⠠	⠠	з
2A	*	100001	⠠	⠠	гл
2B	+	010011	⠠	⠠	інк
2C	,	000001	⠠	⠠	(великий префікс)
2D	-	000011	⠠	⠠	-
2E	.	010001	⠠	⠠	(курсивний префікс)
2F	/	010010	⠠	⠠	вул
30	0	000111	⠠	⠠	"
31	1	001000	⠠	⠠	,
32	2	001010	⠠	⠠	;
33	3	001100	⠠	⠠	:
34	4	001101	⠠	⠠	.
35	5	001001	⠠	⠠	еп
36	6	001110	⠠	⠠	!
37	7	001111	⠠	⠠	(або)
38	8	001011	⠠	⠠	"чи?
39	9	000110	⠠	⠠	в
3A	:	100101	⠠	⠠	ш
3B	;	000101	⠠	⠠	(буквений префікс)
3C	<	101001	⠠	⠠	гх
3D	=	111111	⠠	⠠	для
3E	>	010110	⠠	⠠	ар
3F	?	110101	⠠	⠠	го

ASCII Hex	ASCII Glyph	Брайлові крапки	Брайлівський гліф	Брайлівський гліф Unicode	Брайлівське значення
40	@	010000	⠠	⠠	(наголос наголосу)
41	A	100000	⠠	⠠	a
42	B	101000	⠠	⠠	б
43	C	110000	⠠	⠠	с
44	D	110100	⠠	⠠	г
45	E	100100	⠠	⠠	e
46	Ж	111000	⠠	⠠	f
47	Г	111100	⠠	⠠	г
48	H	101100	⠠	⠠	год
49	Я	011000	⠠	⠠	i
4A	J	011100	⠠	⠠	j
4B	K	100010	⠠	⠠	к
4C	L	101010	⠠	⠠	л
4D	M	110010	⠠	⠠	м
4E	N	110110	⠠	⠠	н
4F	O	100110	⠠	⠠	о
50	П	111010	⠠	⠠	р
51	Q	111110	⠠	⠠	q
52	R	101110	⠠	⠠	г
53	S	011010	⠠	⠠	с
54	T	011110	⠠	⠠	т
55	U	100011	⠠	⠠	у
56	V	101011	⠠	⠠	v
57	W	011101	⠠	⠠	ш
58	X	110011	⠠	⠠	x
59	Y	110111	⠠	⠠	у
5A	Z	100111	⠠	⠠	z
5B	[011001	⠠	⠠	сов
5C	\	101101	⠠	⠠	ун
5D]	111101	⠠	⠠	е
5E	^	010100	⠠	⠠	(валютний префікс)
5F	_	010101	⠠	⠠	(скорочення)

Рисунок 32 – таблиця Braille ASCII

Розглянувши результати (рис. 33), які видала програма, та порівнявши їх з таблицею ASCII бачимо повну відповідність, що означає коректну роботу розробленого алгоритму.

Окремо хочеться виділити обробку програмою деяких особливостей шрифту, а саме виведення символів, котрі подані в верхньому регістрі. Через обмеженість в кількості інформації яка може бути подана з використанням Брайля, він має певні особливості, серед яких подання верхнього регістру, деяких розділових знаків та цифр.

Подібна методика зустрічається і в поданні цифр, їх відображення співпадає з поданням перших літер алфавіту, тому коли ми зустрічаємо цифру, чи початок числа, то на початку його перетворення в шрифт Брайля потрібно, вказати що це чисто, вивевши спеціальний префікс «number prefix» - ⠠. Після завершення чисел, для позначення початку літер використовується префікс, що показує початок буквенної частини «letter prefix» - ⠨.

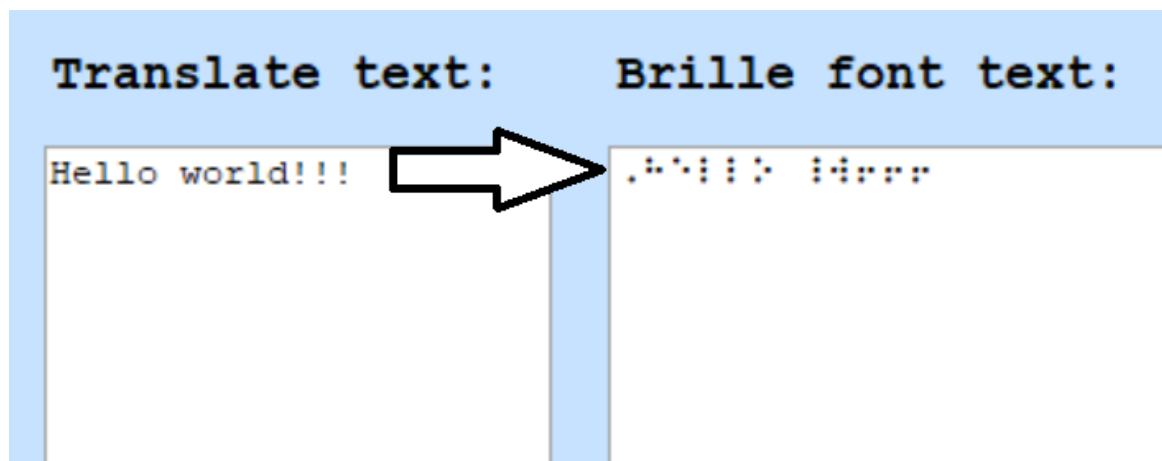


Рисунок 33 – Результат переводу фрази в шрифт Брайля

Розглянемо другий виведений набір даних (рис. 34). По аналогії з першим, він мусить відповідати таблиці, але також мусить містити кодування спеціальних символів. Першим символом в матриці є «000001» — якому відповідає префікс великої літери – це означає коректне опрацювання програмою особливого випадку. Перевіривши відповідність інших виведених результатів, бачимо повне співпадіння з табличними значеннями, що засвідчує коректність інтерпретації інформації.

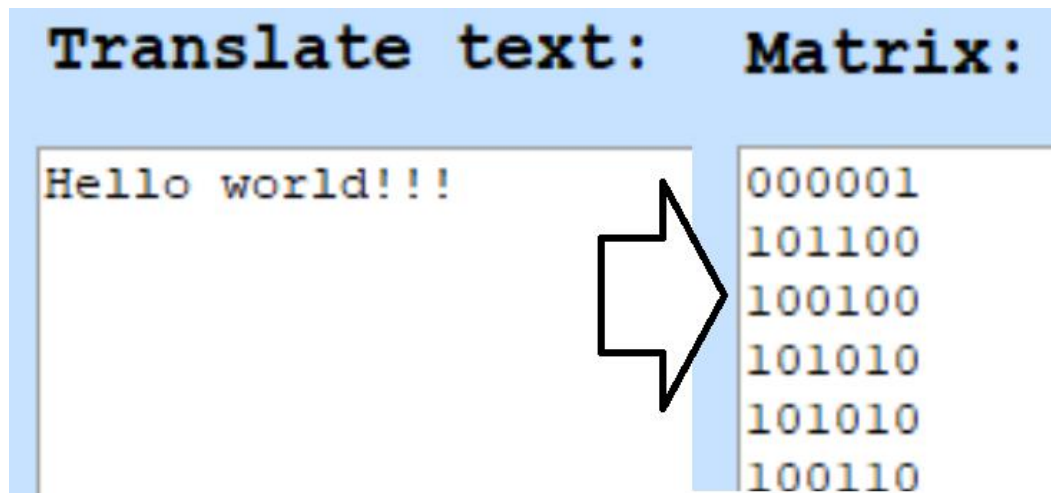


Рисунок 34 – Результат інтерпретації фрази в двійковий набір.

Розглянемо результати роботи програми при описаних вище особливих випадках (рис. 35).

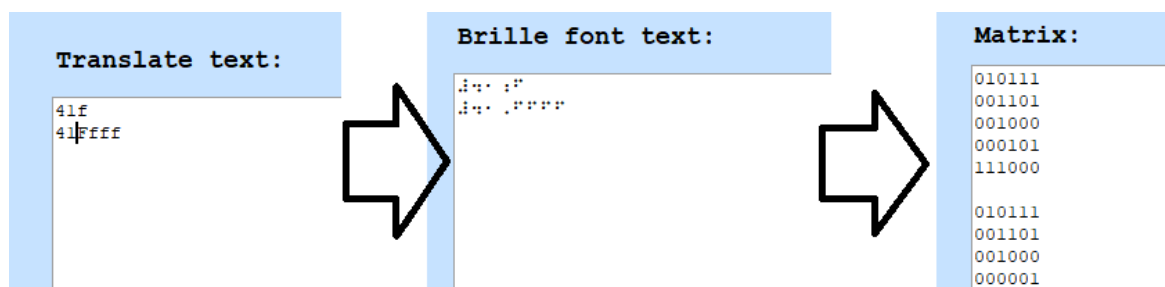


Рисунок 35 – Результати обробки особливих випадків

Як можна бачити, тести пройшли успішно. Алгоритм коректно опрацьовує введений текст, правильно інтерпретуючи його в шрифт Брайля, також виводячи відповідні значення в двійковому коді.

Програма додатково була протестована з іншими наборами вхідних даних. На всіх наборах був показаний коректний результат, що засвідчує успішну реалізацію алгоритму.

ВИСНОВКИ

Аналіз проблеми доступу до інформації для людей з вадами зору показав дефіцит доступних, пересічному громадянину, рішень. Враховуючи досліджені статистичні дані та тенденцію їхньої зміни, які було викладені в роботі, потреба в системах інтерпретації тексту тільки зростатиме.

Метою дипломного проекту був пошук раціональних рішень в розробці доступної системи такого типу. В роботі було проаналізовано існуючі на сьогодні програмні та апаратні засоби, відмічено їх позитивні та негативні сторони, виділено ключові задачі в розробці повноцінного дисплею Брайля, було розроблено модуль для побудови дисплею – клітину Брайля, також був розроблений алгоритм перетворення тексту в два типи вихідних даних, перший для демонстрації його роботи, інший для апаратного застосування.

Розроблена програма наочно демонструє роботу алгоритму. Вибраний спосіб реалізації надає можливості використання цих напрацювань в поєднанні з будь якими з наявних апаратних рішень. Враховуючи ці особливості, прототип проекту може бути створений, наприклад, на базі платформи Arduino.

Програма розроблялась з урахуванням можливостей її подальших доповнень, та модульного використання. Зокрема, було б корисно внести модулі обробки та аналізу зображень, для виділення ключових контурів, що створює можливість їх відображення на тактильних дисплеях.

Розроблений програмний продукт має простий, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дає можливість прослідкувати за результатами роботи алгоритму та переконатись в його коректній роботі, що являється значною перевагою.

Особлива увага при розробці була приділена неоднозначному відображенню особливих випадків, таких як вивід чисел, та літер записаних у вхідних даних в верхньому регістрі. Ці випадки було протестовано різними

комбінаціями тестових наборів, та перевірено їх коректність відносно таблиці ASCII, що підтверджує правильність роботи розробленого алгоритму.

Також варто відмітити, що завдяки реалізації програми мовою Python, алгоритм може бути використаний як пакет для інших застосунків. Обрані технології дозволяють проводити подальшу розробку та тестування на периферійних пристроях, без необхідності переведення програми на інші мови, оскільки обрана технологія буде працювати на більшості операційних систем, та при необхідності, легко надає змогу для включень фрагментів коду, написаних на більш низькорівневих мовах, якщо це необхідно.

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Lancet – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2214-109X%2817%2930293-0> (дата звернення 15.05.2020).
2. Мультимедійна платформа іномовлення України УКРІНФОРМ – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/2342803-svit-vidznasae-miznarodnij-den-slipih.html> (дата звернення 11.05.2020).
3. Офіційний блог компанії Google – Режим доступу: <https://www.blog.google/products/assistant/easier-access-web-pages-let-assistant-read-it-aloud/> (дата звернення 12.05.2020).
4. Офіційний блог компанії Google – Режим доступу: <https://www.blog.google/products/android/braille-keyboard/> (дата звернення 12.05.2020).
5. «Велика українська енциклопедія» – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: https://vue.gov.ua/Шрифт_Брайля (дата звернення 07.05.2020).
6. Онлайн енциклопедія «Omniglot» – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <https://www.omniglot.com/writing/moon.htm> (дата звернення 08.05.2020).
7. Портал новин «Теплица социальных технологий» – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <https://te-st.ru/2019/07/30/how-to-raise-money-for-assistive-projects/> (дата звернення 13.05.2020).
8. Офіційний сайт компанії «insidevision» – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: https://insidevision.fr/index_UK.html (дата звернення 15.05.2020).
9. Офіційний сайт компанії «Humanware» – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <http://www.humanware.com/en-international/home> (дата звернення 16.05.2020).

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

10. Офіційний сайт компанії «4blind» – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <https://ru.4blind.com/> (дата звернення 16.05.2020).
11. Офіційний сайт компанії «blitab» – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <http://blitab.com/> (дата звернення 14.05.2020).
12. Офіційний сайт компанії «Freedom Scientific» – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <https://store.freedomscientific.com/> (дата звернення 20.05.2020).
13. Linear Motion Tips – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <https://www.linearmotiontips.com/what-are-piezo-actuators/> (дата звернення 13.05.2020).
14. Sensors and Actuators A: Physical Vol. 135, Issue 2, 15 April 2007, P. 680-689.
15. Technology websites «Real World Tech» – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <https://www.realworldtech.com/iedm-2005/16/> (дата звернення 09.05.2020).
16. Савельев И. В. Курс общей физики. — Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика (1982), с. 148–152.
17. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), the official journal of the National Academy of Sciences (NAS) – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <https://www.pnas.org/content/early/2014/09/16/1414764111> (дата звернення 14.05.2020).
18. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), the official journal of the National Academy of Sciences (NAS) – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <https://www.pnas.org/content/101/45/15861> (дата звернення 14.05.2020).
19. Изучаем Python, том I, 5-е изд. Пер. с англ. – СПб. : ООО «Диалектика». – 832 с.
20. Офіційна документація Python 3 – Електрон. дані (1 файл) – Режим

доступу: <https://docs.python.org/3/> (дата звернення 17.05.2020).

21. Офіційний сайт «JetBrains» – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm/> (дата звернення 16.05.2020).

22. Perkins School for the Blind – Електрон. дані (1 файл) – Режим доступу: <https://www.perkins.org/international/about/world-braille-usage> (дата звернення 10.05.2020).

					ІАЛЦ.467200.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55